

総研大 葉山高等研 フォーラム報告書

「進歩主義の後継ぎはなにか」

(第7－1回)

平成21年7月9日(木)

計算科学研究センター棟2F(事務センター棟2F)の会議室(200)

[宇 理 須] 皆さん、お忙しいところありがとうございます。フォーラム「進歩主義の後継はなにか」ということで、第7回で1、2、3とあるらしいのですが、1がここで、2は民博で、3が立川だと聞いていて、今年度に第7回を3回やるということですので。それで、こちらにあるように、ずっと引き継いでやってきているテーマで、日ごろの私どもの研究とはちょっと違うおもしろい切り口で、このフォーラムを始めさせていただきたいと思います。

時間も5時過ぎで、少し気を楽しんでもいい時間ということで、暑気払いという意味でもビールも用意しましたし、高畑先生から気楽にという許可を取っていますので、気楽にやってください。

それでは一番最初に廣田先生にご挨拶をいただくのですが、その前にちょっと自己紹介を簡単をお願いします。時間がありませんので、本当に名前と所属だけで、では、順番に、先生から一回りお願いします。

[高 畑] 総研大の学長の高畑です。よろしくお願いします。

[平 田] 分子研の平田です。よろしくお願いいたします。

[長 濱] 基生研の長濱です。よろしくお願いします。

[岡 田] 基生研の所長の岡田と申します。よろしくお願いします。

[出 口] 大阪の民博の出口と申します。唯一の文系です。

[中 村] 分子研所長の中村です。

[江 口] 総研大1年の江口と申します。

[宇 理 須] ついでに君らも挨拶してください。

[小 野] 総研大の小野です。よろしくお願いします。

[奥 村] 計算センターの奥村と申します。

[中 井] 生理研で技術支援をしています中井と申します。よろしくお願いします。[カトウ] 総研大の基生研のカトウと申します。

[加 藤] 総研大の基生研の加藤と申します。

[眞 山] 総研大の葉山本部のほうで広報を担当している眞山と申します。よろしくお願いします。

[永 山] 生理学研究所の永山です。よろしくお願いします。

[宇 理 須] 私は分子科学研究所の宇理須と申します。では、あなたも自己紹介してください。名前と所属をお願いします。

[池 内] 基礎生物学研究所の池内と申します。共同利用でこちらにおりまして、東大の博

士1年の学生です。

[宇理須] では廣田先生、挨拶をお願いいたします。

[廣田] 自己紹介をさせていただきます。私は廣田榮治と申します。私はこの岡崎の最も古い住人の1人です。皆さんご存じのように、1975年4月22日だったと思いますが、分子研がこの地に作られたわけです。初代所長の赤松秀雄先生と井口洋夫教授がすぐ着任されたわけです。

このとき3部門設置されてスタートしたわけですが、2人目の教授が吉原経太郎さんで、彼は75年の8月か9月にここへ来たのです。私が九大にいて研究室を持っていたものですから、ちょっとここへ移るのに時間がかかって、それでも75年の12月にここへ赴任しました。それから図らずも14年間、この岡崎の地にお世話になり、1990年の1月に総研大に転出して、2001年3月まで勤めたわけです。専門は分子科学、特に分子分光が私の専門です。

本日「進歩主義の後継はなにか」というフォーラムをここ岡崎でもやらせてもらうことになり、宇理須さんに大変お世話になりました。本当にありがとうございます。私は、ここにも書いてありますように、2001年、平成13年の3月に総研大を任期満了で退職しました。

奈良のちょっと北に木津という町があり、そこに国際高等研究所という研究所があって、例えば京都大学の学長さんを経験した人とか阪大の学長経験者といった方が所長を務めています。いろいろなフォーラム的なことが活動の中心だと思いますが、やっています。私のような年配者が多いのですが、1年任期でフェローを任命しています。義務は特に何もないのですが、自分の専門分野について国際高等研の近隣の方にお話しする機会が唯一のデューティーです。100万円の活動費が設定されていて、「それで何かやってください」ということです。

そのフェローにさせていただいたとき、私は分子分光学の研究者ですが、総研大の理念に非常に共鳴しておりまして、その線にそってなにかやりたいと思った次第です。私は古い世代の間で、旧制度と言っても皆さん方はあまりピンと来ないかと思いますが、教育は全部旧制度で終えた、いまはもう博物館入りの人間1人です。ちょっと脱線しますと、大学院というのは旧制度ではなきに等しい状態だったんですが、その中で唯一の例外は特研究生です。私は東大で学部を卒業したのですが、学部定員30人の卒業生に対し、毎年あるいは1年おきに1人の特研究生が採択してもらえるとあった按配でした。

この特研究生という制度は、東条内閣が戦争中に作ったという唯一の善政と言われているものですが、先日たまたま霜田光一先生と話していたら、霜田先生は1942年、昭和17年か18年ぐらいのご卒業で、私よりだいたい10年ぐらい年上ですが、霜田先生は特研究生の第1期生と

ということがわかりました。私が特研生の最後で、やっぱり物事にはピンからキリまでであるのだという実感を強くしたわけです。

そういうことで、高等研でフェローをやらせていただいたときに、広い分野の方々に集まっていたいただいて何かやりたいと思ったわけです。現在、人間の活動は非常に活発になっていますが、なぜこんなに矛盾だらけなのかと思うくらい、矛盾がたくさん出てきています。

こういう事態を前にして、先生方皆さんもそうですが、われわれ大学人、研究所所員は知的活動をしてきているわけですから、そういう知的活動を踏まえて、何か世の中に寄与していくことをやってみたいと考え、「進歩主義の後継はなにか」という命題を立てたわけです。

国際高等研で平成14年、2002年に2度やらせていただき、フェローの任期が終わった後ももう一度やらせていただけるかと申し出ましたところ、「よろしいでしょう」と認めていただき、2005年に第3回をやらせていただきました。その後は高畑さんその他の方々にご相談して、総研大の葉山高等研究センターのプロジェクトの一つに採択してもらっています。平田さんの下に入っています。第4回を平成18年、平成19年と20年度に第5回、第6回を開催しました。一番最近の第6回は今年の1月です。

どういう方が出席されたかをご紹介します。さっき申し上げたように、いろいろな分野の方々です。梅原さんはご存じのように哲学です。こういうフォーラムでは、ものの考え方がもっとも重要だと思い、基調講演をお願いに梅原さんのところへ、高畑さんと2人で出向きました。

[高畑] スタッフの人と。

[廣田] 幸い彼は二つ返事で引き受けてくれまして、自分でレジュメを作って出席してくれました。大変ありがたかったです。ここにある数字は、第何回のフォーラムに参加したかという数字です。

西谷さんは法律、佐藤さんはご存じのように物理学、あるいは天文学、高畑さんの次は永井さん：生化学です。濱口先生は残念ながら昨年亡くなられてしまったのですが、人文学です。猪木さんはいま日文研の所長をしておられますが、経済学です。鴨下さんは医学です。それから北川さんは法律です。高畑さんはずっと一緒にやっていますので皆出席なのは当然ですが、鴨下先生も非常にこのフォーラムに共鳴していただいております、皆出席です。それからいま総研大におられる池内さんは天文学です。御園生さんは応用化学、日高さんは環境、石井さんは法律、佐和さんは経済学です。出口さんはそこにおられます。金森さんは物理学、海部さんは天文学、片倉さんはイスラムがご専門です。藤井さんは極地研、長倉先生は分

子科学、勝木さんは基生研です。それから石毛さん、本島さん。塩谷さんは、東大理学部化学の現役の教授です。濱先生、統計数理研究所の北川さん。小林さんは、ご記憶だと思いますが、昨年ノーベル物理学賞をもらわれました。そして堀田先生です。柴田さんは文学で有名です、山折さんは宗教学、井村さんは医学、戒能さんは法律ということで、総計 33 名の方々にお話をさせていただきました。

それぞれの分野の立場から、さっき申し上げた「進歩主義の後継はなにか」ということについて、何も条件を付けずに、45 分ぐらいのお話をお願いし、それをめぐってディスカッションをする。こういうフォーラムは、話しっ放しですと、どこかへ消えてしまうものですから、そういうことではもったいない。これだけの人材を揃えて、お話ししていただいて消えてしまうのは残念だ。それを土台にして何かを積み上げていきたいということで、講演はもちろんのこと、その後かなり長時間、討論をやっていただいています、それらを一字一句全部記録しようということでやってきました。昔でいうテープ起こしです。テープ起こしをして、その原稿を講演した方々、出席した方々みなお送りして、「あのとき、こう言うつもりじゃなかったのだけれども、そうやってしまった」などいろいろあると思いますので、そういうのは自由に修正していただく。あまり 3 倍も 5 倍もの量になって、そこで大論文を書かれてしまうのは困るのですが、具合の悪いことはもちろん削っていただき、あるいは、もっとわかりやすくしていただく。話し言葉というのはずいぶんわかりにくいものが多いです。人にもよりますが、そのまま記録してもわかりやすいという方もおられますが、話はわからず記録してもやはりわからないという人もいます。それは人の特性ですから、あまりそんなことは問題にならないように、記録を作ってきました。

今回は第 7 回ですが、7-1、7-2、7-3 と 3 回もフォーラムをやることになっておりまして、予算的にもたいへんですが、学長から「ぜひやりましょう」と言っていただいたものですから、今回もそういうふうに記録をつくらせていただきます。大変申し訳ないのですが、発言や講演された方々は、あとで校正が参りましたら、どうぞよろしくお願ひします。

今年度は、中期計画での最終年度に当たるので原稿を早く作ってもらわないと、印刷しても支払いができなくなるということです。どうぞよろしくお願ひいたします。

先生方には「進歩主義の後継はなにか」の趣旨をご理解いただいていると思いますが、33 人の方の中には、このテーマを提示してお話をお願いしたとき、進歩主義をちゃんと前もって定義しておかないと議論にならないと、まことにごもっともなご指摘をいただいた方がおられました。本来はちゃんと「進歩主義とはこんなものだ」というのをとうとうとやったほうがいい

のですが、歴史から説き起こしますと、それだけで30年、50年かかっても不思議はないので、そんなことをやっている暇はありません。私は無手勝流ですが、進歩主義に対してはご自分の解釈で結構ですから、それでお話くださいとしてきました。

それでも、ある種のコンセンサスはあろうかと思えます。やはり近代になってサイエンスとテクノロジーが非常に進んだところから、いま現在の進歩主義が支えられていると思います。出口さんは文系だとおっしゃったのですが、今日の出席者はほとんど自然科学系の方です。自然科学を専門とされている方は進歩主義をわりとすんなりと受け入れておられるというか、それが一つの土台としておられるように私には思えます。私自身もそうだと思います。

「進歩主義の後継はなにか」で、後継ぎというと、何か否定するようなニュアンスを感じる方がいるみたいですが、私はそんなつもりはほとんどなくて、やはり進歩主義にも欠陥はいっぱいあるだろう、だけど、それを乗り越えて、もっといいものにしていこうというポジティブなとらえ方で「後継」を提案しているつもりです。

人さままで結構ですが、自然科学者は、だいたいそういう方向の方が多いのではないかと思います。ただ、自分の分野あるいは関連分野で仕事が評価されたら十分という、そんな簡単な考えでは、最近の研究が成り立たなくなっているのは明らかです。そういうことを十二分にお考えいただいて、私は英語でロバスト **robust** という言葉が好きなのですが、皆さん方の研究がロバストになるためには、跡継ぎを付け加えるようお考えいただくのがよろしいのではないかと考えているわけです。

あまり良い例はないのですが、京都大学の山中さんがiPS細胞というのを見つけられて、いま世界がそれをめぐってすごい勢いで動いており、世の中では難病の治療に役に立つことを期待し、医学がすごく進む。そのとおりで、私も大いに待望しているわけですが、それだけではたしていいものかと私は思います。

こういうiPS細胞のようなものがどんどんできて、今朝でしたが、何か人間の精子まで作ったという報告があり、いよいよ行くべきところに来たなという感じがしています。そちらのほうに関心のある方は、どうかたちになるかわかりませんが、生命を作るのは不可能ではなくなっていると言っています。

現在は、二つの人種間、新疆ウイグル地区じゃないですが、でいがみ合ってきていますが、そのうちにナチュラルな人間とアーティフィシャルな人間とがいがみ合うことだって起こらないとは限らない。そういうときに、いったいどう考えるのか。それを生命倫理とかいろいろなことで規制するのがいいとおっしゃるなら、それも結構だとは思いますが、そういうもので

は済まなくなるのではないかと私は思っています。

これは私の生きている間には実現できないと思いますが、それでもわれわれの研究、われわれの進歩主義は、やっぱり育てていかなければいけないと私は思っています。その後継ぎには、倫理観念から何から全部含まれるわけです。そうしないと、本当の研究、本当の進歩にならない。それをこのフォーラムではねらっているつもりです。あらゆる面からいろいろなことを自由にご議論いただいて、こういう知的活動を生業にしている者は、その面から世の中に訴えていくというふうに持って行っていただきたい、というのがこのフォーラムでの私のねらいです。ちょっと話が堅くなりましたが、どうぞよろしく今晚までお付き合いをお願いします。(拍手)

これまでの記録は、総研大のホームページに掲載していただいています。第6回はまだ載っていないですか。

[宇 理 須] まだです。

[廣 田] 近いうちにホームページに載りますので、総研大のホームページに入っていて、出版とかいうところをクリックしていただくと出てきます。それで、ダウンロードも簡単にできるようになっています。

[宇 理 須] あれは Yahoo でもすぐ出てきます。この葉山高等研究センターと入れると、早いです。

[廣 田] どうぞ、ご利用いただきたい。玉石混交であることは認めますが、中に非常に素晴らしいお話があります。特にこの1月の第6回は、文系とか理系と分けるのはよろしくないんですが、柴田さんとか山折さんが来られて、非常に優れたフォーラムでした。また、自然科学のほうでは、堀田さんというタレントが来られて、たいへん活発でした。どうぞよろしくお願いします。

[宇 理 須] では、次は高畑先生に「社会的動物としてのヒトと自己利益の本性」ということでよろしくお願いします。

[高 畑] 廣田先生と、なぜ最初からお付き合いしているのか、もうあまり覚えていないほど長くお付き合いしていますが、今日は自分の専門とは異なった、いわばこの1年ぐらいの間に自分なりにこのテーマに関連して考えてきたこと、あるいは勉強してきたことをお話しして、問題提起としたいと思います。

今日は「社会的動物としてのヒトと自己利益の本性」と、何かよくわからないタイトルを付けました。人間が進歩してきたバックグラウンドには、基本的に三つの大切な資質、条件みたいなものがありました。それはいずれも自由ということに関係していて、人間はその自由を手

に入れたために進歩し、ほかの動物からも大きく変わってきたという経緯があります。

ただし、この進歩のバックグラウンドとなっている自由は、下手をすると、自己組織化、自己目的化しますし、また自己破滅する危険性もはらんでいるものであって、個人の自由とその自由の下で作られてきた人間の社会との間にはやはり微妙なバランスがある。そのバランスをどう取るかが非常に大きな課題になっているというのが、現在環境問題も含めて、さまざまなレベルでわれわれが直面している問題であると思います。そこをどう解決するかという解答をもちろん私は持ち合わせていませんが、そのへんのことを少しお話しさせていただければと思います。

その三つの自由というのは、いわば人間がチンパンジーと袂を分けて人間らしくなってきた三種の神器みたいなものです。経済学者の岩井克人さんは東京大学の方で、その方の言い方を借りれば、一つは言語、二つ目は法、三つ目は貨幣です。

それぞれが持っているものは、みんながそう思うからそうである類いのものです。言語の場合は、共通の意味を伝え、法の場合はみんなが従って、そして貨幣の場合は、みんなが同じ価値を見いだすということになっている。その三つのために、人は大変な自由を獲得したと岩井さんはいいます。

これからお話ししたいと思っているポイントですが、言語にしる、法にしる、貨幣にしる、先ほど申し上げたように、みんながそう思っているから成り立つのであって、自己言及的、自己循環論的なものに過ぎない。それがいったいどこに存在するかというと、実体的なものでは決してなく、人と人との間にしかない。社会があることによってしか成り立たないようなものです。基本的にいまの三つのことを考えようとすると、これは自然科学の分野というよりは、むしろ人文社会科学そのもののテーマになるわけです。

ただ、そういった三つの自由の基盤となっているものを人間が実体的に何か持っているかという、それはある。例えば言語が話せる遺伝的な基盤はもちろんあるわけです。最近になって、例えば **FOXP2** 遺伝子とかミラーニューロンのようなものがあって、人は言語の遺伝的基盤を持ち、ほかの人の感情を感じて、自分のものと同じように共有することができ、共感することができるという生物学的なバックグラウンドは持っています。

そういう基盤があったうえで、初めて人と人との間の新しい非実体的なかかわり合い、関係を人は作り出してきているということで、人類の進化を考えたときに、それが非常に大きな進歩の要因になっているということだと思います。

ヒトは、言語、法、貨幣を持って、特に開かれた社会を構成することができた。この社会が

なければ、ヒトの進歩なんて高々知っているものだと思いますが、この三つの神器のために、人は非常に大きな社会を構築することができるようになった。

このうち、一番古いのは言語だろうと思います。よく言われるのは、ネアンデルタールが話すことができたかどうかという問題ですが、現在の知見では 50 万年ほど前にホモ・サピエンスから分かれたネアンデルタールは、実はきちんと話せなかったのだろうとされています。言語を通じて意味を人から人へ客観的に伝えることができるようになったのはかなり最近のこと、5 万年ぐらい前のことでしょうか。

法に関しては権利と義務ということです。みんなが従うから法であって、従わなければ法でも何でもないわけですが、そういう意味でヒトとヒトとの人間（じんかん）にしかないものができたのは、いまから 4000 年ぐらい前のことです。貨幣に関しては、殷王朝に貝殻を使った貨幣があると言われていますが、そういうところからヒトの社会は急激に進化をする基盤ができたのだろうと思われまます。

これは最古の人類の化石です。人類は東アフリカ大地溝帯の東側で生まれたといままでは言われてきたのですが、2 年ほど前に、チャド、サブサハラからこの人類の化石が見つかりました。700 万年ほど前です。大腿骨も見つかっていて、それから見ると、どうも二足歩行をしているらしいということがわかってきました。もしそれが本当だとすると、これまでの人類の起源に関しては大幅な修正が必要になるということで、いま人類学が大変おもしろい局面に入っていると思います。

700 万年ほど前に人類は二足歩行をして、手が自由になって進化していくわけですが、このころの石器は遅々として進まない。同じようなものをずっと長い何百万年の間、使っていました。それが火を使い出し、脳が大きくなって 750CC を超えたところに直立原人が出て、初めてアフリカを出て東南アジアのほうに拡散していきます。2 回目は、いまから 5 万年から 10 万年ぐらい前だと言われています。第 2 回目の出アフリカが起こって、世界拡散をすることになります。

脳の容量を見てみますと、猿人の段階では長い期間にわたって、あまりチンパンジーと変わらない 450CC ぐらいの期間がずっと続いています。ハビリスは道具を使う人という意味ですが、それが出たころ、240 万年ぐらい前、それからエレクトスは 200 万年ぐらい前ですが、そのころになると、700CC を超えて、先ほど申し上げたように、第 1 回目の出アフリカを直立原人がするわけです。その後現代人の祖先が再びアフリカで生じて、それが世界へ拡散していきます。最初の誕生が 20 万年ぐらい前、拡散が 5 万年ぐらい前とされています。

人類進化を見てみると、長い期間にわたってあまり大きな変化はなかったのですが、しかし同時に人類はいろいろな種に分岐していきます。たくさんの種ができては消えていきます。全滅を逃れたそのただ一つが、ホモ・サピエンス・サピエンスです。ネアンデルタールも含め、いろいろなホモの種が出ますが、全部絶滅しています。

これは、われわれはいつから言語を話すことができるようになったかということで、5～6年前に話題になったデータです。FOXP2という遺伝子が壊れると、文法も発音もおかしくなります。それを調べてみると、ヒトだけで特別に変わったアミノ酸が2個あったということです。それではということで、いまではヒトのFOXP2の遺伝子をマウスにノックインしてマウスの「しゃべり方」を調べるようなことをする。マウスの行動に明らかな影響が出ているということなので、たかだか二つのヒトに特異的なアミノ酸の変化ですが、それがわれわれの言語獲得に大きな役割をしたのではないかとされています。スコープスでも何でも結構ですが、FOXP2と入れていただくと、たくさんの関連文献が出てきています。

ホモ・サピエンスが5万年ぐらい前にアフリカから出て、ヨーロッパ、アジア、アメリカに拡散していくわけですが、そのときの分岐のパターンを遺伝子の情報から書いた系統樹とそれに対応した言語関係の研究があります。一言で言うと、遺伝的な変化と言語的な変化とはパラレルなようです。

言語の進化は遺伝の進化に比べたら、とんでもなく早い。1万年以上にわたって言語の進化を調べることはほとんどできないわけです。しかし、わずかですが遺伝的な変化もローカルに起き、また言語もその土地でローカルに生じてきている可能性がある。

いまはイントロダクション的な話ですが、今日お話ししたいことはこういうことです。われわれの社会の中にあるさまざまなものは、進化システムとして見ることができる。永山先生は、あとで進化系としての科学ということをおっしゃいますので。

[永山] 彼(市川淳信)の本を。

[高畑] そうですか。初っ端だから。

[永山] 全部紹介します。

[高畑] では全部言いません。進化システムは何かというと、自己複製する単位があって、それが集まっている。自己複製する単位は変異をすることができる。変異間には競争が起こる。相互作用があって、競争が起き淘汰が起こる。ただし、それを支える環境がないといけない。

そういうものを進化システムと呼ぶわけですが、例としては、科学モデルです。モデルは何回も繰り返し使うことができ、それを変えることができる。競争を起こすことができ、有

効なモデルが生き残る。商品も、携帯も行動のパターンも、進化システムです。

いろいろな進化システムがわれわれの社会の中にはあるわけですが、問題はそのジレンマと著者の市川先生が言っているものです。進化システムは暴走する。特に問題が起きるのは、それを支える資源や環境に限界が来たときです。そのとき良心的な行動は、そういうものが変異だと思っていただくと、そういう変異は淘汰されて集団から消え去ってしまう。残るのは相変わらず競争に強いものだけが残る。その結果、システムは暴走するという論理です。

具体的にどんなものがあるかという、一つはコモンズの悲劇です。出口さんはよくご存じかもしれませんが、共有地があつて、そこに牛を放牧する。これは限界がある環境ですので、もちろんそれを食べ尽くしてしまえばまずいということを気がついた人がいたとすると、少し食べさせる量を減らそうとする。そうすると、ほかの人がそうしなければ、その人は淘汰されるわけですから、結局システム全体としては共有地を破壊し尽くすということで、そのシステムは終わりを遂げる。それがコモンズの悲劇です。

似ているのは、容量型の地球環境問題です。容量型というのは、キャリング・キャパシティーがかかっているもの、エネルギーとか、石油とか、地球資源とか、そういうものは全部有限ですので、そういうものがかかっているような、つまりある種の限界まで来てしまっている問題が環境問題の中にあります。

環境問題と言えば、ほかに汚染型の地球環境問題というのがあるといいます。例えば環境ホルモンです。これは化学者の責任であつて、「作ったんだから、ちゃんと元に戻してよ」というだけのことだと思うので、この汚染型地球環境問題は大した問題ではない。解決できないはずがない。しかし容量型はもっと深刻で、システムそのものに内在した原因で破局が起きる。

社会と個人の間でおきる似たようなコンフリクトは、囚人のジレンマとよばれるものです。もともと生態学で議論されたことです。2人のプレーヤーと二つの戦略というのがあつて、EとAとします。2人そろって協力関係を作れば、結果それぞれが利己的に振る舞うよりもいい結果が得られるのに、相手のことを知らないためにそれぞれのプレーヤーが合理的だと思つて取りうる戦略は利己的なものになります。

これがなぜ囚人のジレンマという話になっているかには、少し説明が要ります。軽犯罪で捕まった2人の囚人は重大な犯罪を共犯で起こしているわけですが、警察から「自白すれば、おまえの刑は軽くなる」と言われると、それぞれの囚人は、相棒がどういう返答をするかわからないという状況で取りうる合理的な判断は自分が自白することです。

そうすると、相棒も自白しているということで、結局、お互いが協力して黙秘するよりは重

い刑を受けるという結果になるわけです。そういうことが社会には多数あって、人が個人的な合理主義的な考えに従って動いているからといって、必ずしも社会にとっては最善の結果をもたらすとは限らないことが往々にして起こる。

去年のいまごろから世の中は大変なことになりました。その後、経済危機の特集がいろいろあって、あるテレビ番組の最後にキャスターが言った言葉「誰のための経済か」が強く印象に残っています。なぜいまの経済は、こんなふうになってしまったのだ。そもそも経済学とは何だということを考えてみようと思い、皆さんご存じのとおりのことですが、このような一覧表を作りました。

アリストテレスのニコマコス倫理学は経済学の原型だと思いますが、個人の自己利益を追求することだけが経済学だなどとは言っていないわけです。社会全体のことを考えるものを経済学という。アダム・スミスに至ってもそうでした、「見えざる手」というのは、やはり公共的な利益を考えたとて、「個人個人は自己利益を追求するが、公共の利益にもつながっている」という言い方をしている。

第2次大戦後になって、ケインズが出てくるわけですが、これも大変おもしろい。おもしろいというか、現在の経済学の主流を作った人だと思います。市場経済は本質的に不安定である。例えば、そのときに投資家がいったいどういうものに投資するか考える例として「美人コンテスト」を提案している。で、一番多数の人に投票した人に報酬を与えるという条件を付ける。この条件は、自分が一番美人だと思っている人を選ぶのではなくて、みんなが平均的美人だと思っている人を探して、選ぶということです。

経済で言えば、どこに投資するかというと、一番伸びる会社に投資することにはならなくて、場合によっては、平均的な会社、安全な会社に投資することになるので、経済の中には、合理的な考え方だけでは済まない面がたくさん出てくるということが一つのポイントだと思います。

ところが、その後、フリードマンによって作られた新古典派経済学の大前提は、「人間は合理的に振るまえる。合理的に振るまえるとすれば、市場はきちんとやれるのだ」ということです。そこはまさにダーウィンの自然選択的な考えがあって、合理的に振舞えない人は淘汰される。合理的に振る舞える人たちだけが市場に残れて、その人たちだけの市場というのは発展、進歩するという考えだと思います。

それを引き継いだのがレーガン、ブッシュですし、イギリスではサッチャーですし、日本では小泉構造内閣であって、「市場のことは市場に任せる。自由にやりなさい。政府介入は最小限にしる」という考え方です。最近では、100年に1度の危機が起こって、政府が介入せざるを

えない状況になってしまった。市場はそんなに安泰なものではなく、破綻してしまった。そういう問題が経済にはあって、誰のための経済なのか、その自己利益を追求する人のためだけの経済なのかという質問を再びせざるをえない状況が、この1年顕著になっていると思います。

中にはやはり偉い人がいるものです。「そんな自己利益の追求だけではだめだ」と言った人がいるわけです。それはアマルティア・センというインドの人で、ケンブリッジで学位を取った人です。ノーベル経済学賞をアジア人で初めてもらった人です。

センは、自己追求、自己利益の追求ばかりをしている経済人は合理的な愚か者であると断言します。『合理的な愚か者』という本が出ていますが、大事なものは、シンパシー（他者への共感）とかコミットメント（使命感）であり、経済を進めていくうえで大事な要因ではないかと言っています。ある意味で、人間的なものがもっと出された経済学であって、その後、行動経済学とか、神経経済学と呼ばれている分野が広がりつつあるという状況だと思います。

日本でもそういうことを言った経済学者がいます。読んだことはなく、新聞だけの受け売りで申し訳ありませんが、柴田敬という人がいて、経済学というものは生産のあり方、人間の働き方を見直す作業だということを言っていますので、単なる利益追求だけでは済まないという意識を多くの人がいま感じているところではないかと思います。

最後のスライドですが、日文研にいた森岡さんによると、人間の本性が三つある。いままでずっと話をしてきた自己利益の追求、もしこれがなかったら、人間はこんなに進歩しなかった。

「自分はどうでもいいよ」と言って、他人のことばかりやっていたら、その遺伝子は残りませんから進歩しようがなかったわけですが、それだけではなかったはずで、いま少し申し上げたように、共感とか使命感といった他者への思いやりも人間の本性の一つであって、森岡さんの言い方によれば「ささえの本性」ということになります。

それからもう一つは、これは、今日は何も申し上げませんが、自然との一体感とか、共生の問題です。自然の中に生かされているという言い方がいいのかどうか分かりませんが、われわれはそういう感情を持つことがあって、自然への回帰本能を持っているわけですから、そういうものと切り離れた現在の社会がそれで満たされたものかどうかは、やはり問うべきことだろうという気がします。

では、どうしたらいいのか。地球環境問題にしたって、進化システムとしての爆発がいたるところで起こっている、容量の限界まで来てしまっているということが市場経済でもあるし、環境問題でもあるし、そういう状況にわれわれは進化させ、進歩してきたわけですが、ではどうしたらいいのかという問題です。

進化システムの中に自己複製子は必須です。潰してしまえばシステム自体がなくなるわけです。では変異を少なくすることはできるかという、それは将来のためにはそういう変異がないと、システムとしては進歩の終焉です。そうすると、あとは相互作用の部分の、つまり変異間の相互作用をどう調整していくかというところしか解決の糸口がない。

それには法と倫理が大事な役割を果たすだろうということだと思のですが、特に市場経済におけるいまのような拘束性のない自由、ほったらかしにしておいて、合理的な愚か者の世界にしておいていいのかどうかという問題がある。社会がそこをどうコントロールしていくかという問題がある。

それから地球環境問題の場合には、人間と自然との界面でそういう問題が生じていますので、そのところの相互作用を、方向を変えたり、強さを弱めたりするということをしていかざるをえないということではないか。

これも市川先生の本からちょっと拝借したものです。われわれは個人的な自由が必要だけれど、社会の中の個人としてしかありえない人間なわけですので、そのバランスをどう取るかということが問題です。かなりぎりぎりのところまで来ていることが、問われている状況にあるのではないか。それが私の結論で、いろいろご意見をいただければと思います。ありがとうございました。(拍手)

[宇 理 須] それでは自由に討論をしてください。一応、討論の時間を取るということですので。

[永 山] かなりダブっているのですが、市川先生のあれを細かく紹介します。私は生物側からの進化という話をしたいと思います。人間の本性という本はずいぶんありますが、哲学的議論で人間の本性は絶対わからないと思っています。人間の本性がわかるのは、実はサイエンスしかないと思います。その先端として、やっぱり脳科学があるのではないかと考えているのですが、そういうことがやはり科学のよさというか、有効性として使われるべきだというのが私の考えです。

人間の本性というのは、先に自由にさせると、たいていろくなことは起こらないんです。なぜかという、人間は浅知恵ですから、わかったつもりでもほとんどわかっていません。先に何か身勝手をしてしまうので、それに枠をはめないと、とんでもないことを起こすわけです。そこはやっぱりきちっと向き合うべきだと僕は思いますが、それが本当の意味でのサイエンスと思っています。

[高 畑] 反対することはないのですが、今朝テレビを見ていたら、理研の田中啓治さんが

将棋の羽生名人の脳をファンクショナル NMR で調べた報道していました。天才型の名人が使っている脳は非常に古い部分の脳であって、皮質部分ではない。大脳皮質ではなくて、爬虫類的な脳の部分である。

そういうことで、おっしゃるように、サイエンスとして、その本性、本能的な部分をきちんとやることはできるだろうという気がします。

[宇 理 須] ほかにどうでしょう。

[平 田] 僕は、人間の持っている動物としての、あるいは生物としての側面が人間の本質と言えるだろうかという疑問を持っています。むしろ人間の社会的な側面、社会的な中で人間という側面、社会的な動物としての側面がどういうふうに進化してきているのだろうかというとらえ方をしないと、一面的な見方になるのではないか。

社会がずっと進化して、社会自身も進化していて、その進化の中で、いろいろな問題が起きているわけです。

[高 畑] その考えですが、猪木さんが最近、NTT 出版から出された『大学の反省』という本があります。それは、いま平田先生がおっしゃったような部分で、岩井克人さんもそうですが、サイエンスでわかる部分とわからない部分は当然あって、人と人との間にあるものというのはサイエンスというか、実体的なものではありませんので、鑑定するしかないのも、そういう部分は人文的にやらざるをえない。

お二人とも言っていることは、人文学の復権みたいなことを言っているのです。でも、両方がやっぱりやらないといけないという意味での。

[平 田] 僕は人文学というよりは、社会科学だと言い方をしたいと思います。

[永 山] 僕は、生命の進化系を 1 と 2 というふうに分けていて、人間の進化系は生物の進化系と本質的に違う部分がありますが、僕はそれをえぐり出してみたいと思っています。

[高 畑] それはそうですね。

[宇 理 須] 先生のお話で脳の大きさということに興味を持ったのですが、これ以上もう大きくなるとしたら、どうなるのか。例えば、先ほどおっしゃったような中国の暴動とかあって、いま格好いいことを言っても、いざパンが 1 個しかない、それを食べなければ死んでしまうというときになったとき、脳の限界に来ているときに、さらに進化して、そういう極限の問題を解決するような脳を持ちうる進化はあるのでしょうか。

いまでもアメリカだって原爆は絶対に捨てないし、ソ連だって捨てないです。本当にいざ資源を争奪することになったときに、人間はそれを乗り越えるだけの脳を持ちうるのでしょうか。

[高 畑] 大きさの問題とどうかということとはわかりませんが。ただ、ホモ・サピエンスの脳が最大かという、そうではないです。

[宇 理 須] まだ余地がある。

[高 畑] ネアンデルタールのほうが大きかったと言われているのです。これは 1350 でしょう。ネアンデルタールは 1500 ぐらいあったと思います。だから大きいだけが脳じゃない。

[宇 理 須] そういう極限の問題を解決する英知を獲得しないと、本当に全滅しますよね。

[平 田] それは、それこそ脳の生物学的な大きさとか、そういう問題ではなくて。

[宇 理 須] 機能の問題でしょうか。

[平 田] 機能というよりは、脳に反映されてくるさまざまなほかの社会的な要因とかいろいろ、例えば石油がまもなくなくなるとか、そういったいろいろな問題があるわけで、それをどう解決するか。サイエンスという意味はナチュラルサイエンスだけではなくて、社会科学、あるいは人文科学、政治も含めて、非常に総合的な科学の役割ではなかろうか。もし、それができなければ、人類はおそらく滅びます。それをやれるかどうか、やはりある意味では科学者の使命になっているわけです。

[高 畑] 宇理須先生がおっしゃったように、軍拡競争も一種の進化システムなのです。それは悪いことだということをアメリカはよくわかっているので、「では半減しましょう」と言ったら負けてしまうわけです。それは非常に難しい面を持っていて、本当に正しい、善だと思っていることをやると負けてしまうというシステムなのです。

[宇 理 須] そうですね。それを乗り越える進化があるのかということですね。やはりもっと優秀な脳を持ったところが、ほかを絶滅させて生き延びるしかないのでしょうか。

[永 山] 優秀な定義は難しく、尺度がいろいろあります。まさしくそれが人間社会ですよ。尺度があまりにもたくさんありすぎる。だから優秀の定義は簡単にはできません。そのところで、一方的にやると危ないです。そのときに進化系の問題があつて、それはまさしくそのうちだなど思っているのです。

あと統計性というか、非常にたくさんあるという、まさにその中の社会ですよ。その問題は非常に複雑です。あまにも複雑で、われわれの直感は、そここのところはあまりにも働かないと僕は思っているんです。典型的な例は経済ですが、あまにも複雑で、だいたい当たらないです。

[高 畑] 全然当たりませんね。統数研でも株価の変動を予測しているのですけれども、全然当たりません。

[永 山] 絶対に当たらないですね。

[平 田] あんなものは大儲けするやつが出て、それで終わりなんですから。

[永 山] そういう意味では全部がリアクションとして返ってきますからね。予測すれば、全部リアクションとして返ってきます。その問題なんです。そこが生物系とは全然違う。

[平 田] というよりも、おそらく、いまの経済危機の背景にあるのは、経済の自由競争による破綻が来ているのではなくて、政治による自由競争のものすごい偏りというか、バイアスがかかったところにあるのではないかと思っています。

[永 山] 自由競争をさせれば、大金持ちと貧乏人ができるというのは、ほとんど自明のことなのです。だから政府が介入しない限り、こういうことになることは、僕は子どもでもわかる話だと思います。

[高 畑] そうだと思いますね。

[平 田] 一番典型的なのはゼロ金利政策です。日本が取ったゼロ金利政策のおかげで、ヘッジファンドがものすごく膨れ上がってしまったのです。ヘッジファンドにたくさんお金を貸しているのですから。

[高 畑] それは円キャリーで？

[平 田] ゼロ金利で。

[高 畑] ゼロ金利のために円を借りて、向こうで。

[平 田] そうです。それでヘッジファンドが借りたお金をまた日本のサラ金が借りて、ものすごく高い金利で日本の中小企業に貸したという経緯があるわけです。それはものすごく大きな問題で、銀行も半分ぐらいそういうことをやっているわけですが、要するに大銀行だけにしか……。

ゼロ金利と云って、貸しつけているのはものすごく大きなヘッジファンドとか、大きな金融機関に貸しつけているだけの話であって、そのときから富の偏りがますます加速されたわけです。

[永 山] たぶん自由競争よりも加速された。

[平 田] 自由競争だったら、あんなに急に加速は。

[永 山] 特に未来を先取りしているでしょう。将来にわたって、いろいろな金利だの何だの、時間軸をいっぱい未来にわたって作って、いろいろな商品を作って、複雑な利子体系、基準体系を作った。そして最後は、もうほとんど本人たちはコントロールできなくなっているわけです。あとはコンピュータに任せられて、まさしく本当にバーンと爆発してしまった。

[高 畑] あれは要するに、実体を伴わない貨幣だけの話で、信用の財だけのことであって、それがバブル的にはじけてしまったというのは当然です。

[平 田] それからもう一つは、アメリカのチェイニーに代表される軍需産業ですよ。あの連中がものすごく悪いことをやった。あれは本当にお金儲けをするために戦争をやっているみたいなものですからね。

[高 畑] ただ、カーネギーにしても、経済は何だ、単なる金儲けかという、そうでもないみたいです。それはゲームだ。ゲームに勝つことにやはりある種の快樂、快感があるのです。最後、大金持ちになったときに何をやるのかという、やはりドネーションなのです。

[永 山] アメリカはその伝統はすごいですね。全部出してしまおう。単純に個人主義だと、子どもたちに残さなくていいという感覚がどこかにあるのではないのでしょうか。一代限りと思えば、全部出す。

[平 田] この間、ピーター・ロスキーという僕のボスと話していたら、やはり相当な個人差がある。ハワード・ヒューズとか、カーネギーは確かにそういうことをやったのだけれども、大部分がそうではないと言っていました。

[永 山] 大部分はそうではない。

[平 田] 堤未果という人が書いた『貧困大国アメリカ』という本が出ています。ぜひお読みください。

[宇 理 須] それでは次のテーマに移らせていただきます。基礎生物学研究所の長濱嘉孝先生で、「生物多様性の理解と地球環境保全」というテーマです。

[長 濱] 地球上では、20世紀に入って世界の人口が爆発的に増加したことにより、地球環境は著しく変貌しました。そして、そこにすむ多種多様な生物はすみ場を奪われて、多くの種が絶滅の危機に瀕しております。1992年にエドワード・ウィルソン著「生命の多様性、The Diversity of Life」が世に出たことで、「生物多様性、Biodiversity」が現代社会のキーコンセプトとなり、生物多様性の解析や保全についての生物学的研究が著しく加速されました。

ご存知のように、地球上には、実に多くの多様な生物が棲んでいます。知られているだけでも150万種を超える生物が見つかっています。では、地球上には実際どのぐらいの種がいるかというと、5000万種とも、1億種とも、あるいはそれ以上だと言う人もいます。

いずれにしても、われわれは地球上に現存する生物のごくわずかしかならないということになります。そのほかの90%を超える生物をまだわれわれは知りませんし、場合によっては、そういう生物がわれわれの生活にもいろいろな影響を与えているかもしれません。その一方で、

その生物一つひとつには個性があり、それぞれがネットワークを形成して相互に関係し合っており、そのことが生物多様性の姿そのものなのです。

高畑先生も触れられましたが、絶滅種に対する関心は近年著しく高まっています。本日これから少しお話しするメダカについてもそのようなことが言われておりますし、ごく最近は両生類の減少が話題となりました。いわゆる「炭鉱のカナリア」は、炭鉱においてしばしば発生するメタンや一酸化炭素といった窒息ガスや毒ガス早期発見のための警報として使用されました。カナリアは常にさえずっていますので、異常発生に先駆けまずは鳴き声が止みます。つまり、危険の察知を目と耳で確認できる所が重宝され、毒ガス検知に用いられました。現在は、環境変化を検知する目的で両生類が用いられることがあります。両生類は陸上と水上の両方に棲む関係上、それら両方の環境に影響されますので、周囲の環境に非常に敏感に反応するということからこのような目的に利用されているのです。

両生類の数が近年になりなぜ減ったかという原因はまだよくわかっていません。ツボカビが原因であるとか、あるいは環境汚染が原因であると言われております。一つの例は、九州の山田緑地で発見された過剰肢カエルです。これは陸軍の爆薬庫か何かがあるところにあって、池がそれによって汚染されたのではないかということで、マスコミにも大きく取上げられたことはまだ記憶に新しいことです。

しかし、この池から採集した卵を室内でまったく異なる環境下で飼育しても同じような奇形が出ました。また、他の場所で生まれた卵塊をこの山田緑地の池で飼育した場合には奇形は生じませんでした。他の実験結果ともあわせ、現在は汚染水によるものではなく、なんらかの遺伝的要因により過剰肢が生じると結論されているようです。

一方で、化学物質の影響でカエルが減っているという報告もあります。その影響として、化学物質が直接的に作用する場合と、化学物質が体内に入り込み、その中のホルモンをかく乱することによって、生殖システムにいろいろな悪影響を及ぼすというケースもあります。少し古くなりますが、アメリカでアトラジンという除草剤がカエルの生殖腺の発達に悪影響（性転換を起こす）を及ぼすという研究結果が Nature 誌や PNAS 誌に発表されて、一時大きな話題になりました。

ただ、このような研究を進める上で注意しなければならないことがあります。化学物質の影響である種の野生動物の生殖腺に異常が起こった（性転換が起こった！）という場合のことです。本当に性が転換したのでしょうか。そのことを正確にチェックするためには、対象とする動物個体の生まれつきの性（遺伝的な性、オスかメス）を知る必要があるのです。ところが、

哺乳類以外の野生脊椎動物で生まれつきの性が分るのは日本に生息するメダカが唯一です。後述するように、性転換に限らず野生動物の生殖システムに及ぼす化学物質の影響を明らかにするためには、それぞれの動物種の生殖機構を詳しく知る必要があります。そうでなければ、化学物質の影響を正しく評価することはできません。

「地球上の生命がどのようにして多種多様に進化してきたのか」という生物学上の大きな謎を解くには、分類学、生態学、発生学、生理学、生化学、そして分子生物学など幅広い視点から総合的に研究を進めなければなりません。ゲノム（遺伝情報）の全体的解明が現実となった今、これまでの要素還元的アプローチに加え、生物の持つ階層性、システム性を意識しつつ全体のなかで理解する必要があります。われわれの研究分野では、「生物多様性の研究」も「進歩主義の後継ぎ」の一つとしてふさわしいのではないかと考えます。

話題があちこちとそれてしまい申し訳ありません。これまで主として生物種をもとに生物多様性を述べてきましたが、本日お話ししようと思いますのは、生殖メカニズムの多様性と共通性についてです。

われわれはこの30数年間にわたって、魚類を主な研究対象として「性と生殖の基本的メカニズム」を調べてきました。もちろん生物における生殖の様式には、有性生殖と無性生殖があり、そのうちオスとメスがかわる有性生殖によって遺伝子が混じり合う結果、個性のある多様な生物ができるわけです。われわれが研究対象としているのが、オスとメスがどうして生じるのか、またその結果形成される精巣と卵巣で精子と卵がどのような仕組みでつくられるのか、その過程でホルモン因子がどのようにかかわっているのか、そのようなことを特に魚類をモデルとして研究を進めております。これらの研究の過程で、いくつかおもしろい生命現象に出会いましたが、そのなかで特に生物メカニズムの共通性と多様性の問題について解答を与える2つの例、卵成熟と性決定のメカニズム、を取上げてみようと思います。したがって、本日はほかの皆様とは違って私自身のこれまでの研究を例にしながら話題を提供させていただこうと思います。

卵成熟メカニズムの動物種間における共通性と多様性：

すべての多細胞の生物個体の一生は卵細胞が受精することによって始まります。しかし、卵が精子を受け入れるに至るまでには、複雑な一連の変化があり、これが卵成熟というプロセスです。生物個体の一生が受精から出発することを考えるだけでも、この一連の卵成熟という過程（通常は数時間から十数時間）が生物的に重要な意義をもつことは自明であり、古くから研

究が行われてきました。

われわれはこれまで、ヒト（女性）から無脊椎動物のヒトデまで 30 種類近くの生物種を実験材料に使用して、卵が成熟するという仕組みの共通性と多様性を探ってきました。

まず、魚類の卵成熟の過程をビデオで観察してみましょう。これからお見せするのは、魚類では数時間で起こる卵成熟の過程を 1 分程度に短縮したビデオです。未成熟卵の中心近くに核（大きな核なので卵核胞と呼ぶ）が観察されますが、ホルモン処理により卵成熟が進行するとこの核が徐々に消失して行き、ついには完全に消えてしまいます。核が完全に見えなくなったこの状態になると卵は成熟し、受精を受け入れることができるようになります。しかし、まだ卵はその周りを濾胞組織で囲まれていますので、外から精子は入ることはできません。ビデオをさらに進めると、濾胞組織が剥がれて卵が裸になる過程がはっきりと観察することができます。この過程が排卵です。このような卵成熟や排卵は、無脊椎動物からヒトまで、全ての動物で共通にみられる現象なのです。

[宇 理 須] それは人の卵ですか。

[長 濱] いまのはメダカです。

いまお見せした卵成熟から排卵に至る過程は、無脊椎動物、脊椎動物に共通にみられるのですが、それについて仕組みがわかっている生物種はごくわずかで、もっとも研究がされてきたのが数種の魚類、カエル、そしてヒトデなのです。これほど重要なプロセスがありながら、わかっているのはごくごくわずかな動物種なのです。

これらの動物の卵を用いた研究から、卵成熟は 3 つの因子が順序良く分泌され、作用しあうことによって誘起されることがわかってきました。

卵成熟の第一の制御因子は、脳下垂体（脊椎動物）、あるいは放射神経（ヒトデ）から分泌される生殖腺刺激ホルモン、第二の制御因子は、生殖腺刺激ホルモンが卵を囲む濾胞細胞働いて新たにつくられる卵成熟誘起ホルモン、第三の制御因子は、卵成熟誘起ホルモンが未成熟卵に働いて卵内に新たにつくられる卵成熟促進因子（MPF）です（図 1）。

卵成熟の第一の制御因子については、LH（黄体形成ホルモン、糖蛋白質）がすべての脊椎動物で共通であることがわれわれの研究も含めて少し前にわかっていたのですが、無脊椎動物におけるこの第一の制御因子の化学的実体は長いこと不明なままでした。

[高 畑] LH というのは Luteinizing hormone ですか。

[長 濱] そうです。

私達は、ヒトデを実験材料として基生研の創設以来 30 年間以上にわたって無脊椎動物の生殖

腺刺激ホルモンの化学的実体を追求してきましたが、ついに今年、この問題に一つの決着をつけることができ、三田雅敏現東京学芸大学教授や吉国通庸現九州大学教授らとともに論文として発表しました。この間、何度もヒトデの生殖腺刺激ホルモンの単離、精製を繰り返してきましたが、今回の精製には 5500 匹のヒトデを用いました。30 年間に用いたヒトデの数は実に十数万匹に達します。

ヒトデの生殖腺刺激ホルモンの化学的実体がわかってみて大変驚きました。なんと、リラキシンという、骨盤を広げて分娩を容易にする女性特有のホルモンと非常に似た化学構造を示す物質であったのです。

早速、このヒトデのリラキシン様生殖腺刺激ホルモンを化学合成して、体外に取り出したヒトデ卵片にかけてみました。ビデオでその様子をご覧にいます。このように、30 分も経たない間に、成熟した多くの卵が培養液中に放出されました。化学合成されたリラキシンで未成熟卵が成熟し、さらに排卵も起こったこととなります。

次に、この合成ホルモンをまだ成熟していないヒトデの雌雄個体に注射してみました。注射された後のヒトデの行動をビデオでお見せします。このように、30 分も経たないうちに、雌雄ともに、とても奇妙な行動を起こし始めました。水槽の側面をつたって水面に達し、雄は成熟精子を、雌は成熟卵を体外に放出したのです。ヒト女性で重要な働きをするホルモンであるリラキシンが、ヒトデでは卵や精子を成熟、排卵・排精させるとともに、性行動をも誘発する作用をもつことがはじめて明らかになったのです。われわれにとってもこの発見は大きな驚きでした。

今後、リラキシンというホルモンが、無脊椎動物から脊椎動物に至る進化のプロセスで、その構造と機能が生殖現象とのかかわりでどのように変化してきたのかについて、さらに研究を進めようと計画しております。これまで、リラキシンについての研究のほとんどは、ヒト（女性）に限定されていきましたので、ヒトデの研究が契機となって新しい展開を示すかもしれません。

次に、卵成熟の第二の制御因子についてお話します。すでに触れましたように、脊椎動物では卵成熟の第一の制御因子である LH のサージによって引き金を引かれます。しかし、その結果、卵巣でつくられる第二の制御因子の化学的実体が明らかになっている動物種はごくわずかです。ヒトの女性では、約 1 カ月に一度 LH のサージがあり、この LH が卵巣に直接働いて 16 ~ 24 時間後までに卵成熟と排卵が起こることはわかっていますが、LH が働く結果卵巣でつくられる第二の制御因子の化学的実体はいまだに不明です。鳥類も爬虫類も同様にまだわかりま

せん。これらの動物の卵は大きくて生体外に取り出して実験を行うことが困難なのです。一方、両生類については、古くからプロゲステロンがカエルの卵成熟誘起ホルモンであると考えられていましたが、最近それが疑問視され、新しくアンドロゲン系のステロイドの卵成熟誘起作用が注目されております。

われわれは1985年に、世界に先駆けて魚類における第二の制御因子（卵成熟誘起ホルモン）としてプロゲステロン系ステロイドである $17\alpha,20\beta$ -ジヒドロキシ-4-プレグネン-3-オン（ここではDHPと略）をサケ科魚類のアマゴから単離、同定しました。現在でも、脊椎動物で化学的に単離、同定されている卵成熟誘起ホルモンはDHPとDHPによく似た 20β -Sの2種類だけですが、これまで調べられたほとんどの魚類でDHPが卵成熟の第二の制御因子であることがわかっています。

このDHPはウナギの卵成熟誘起剤として利用されております。ホルモン注射により成熟を促進されたウナギにDHPを注射すると、卵巣のほぼすべての未成熟卵は卵成熟を起こします。2年、3年後には、完全養殖で得られたウナギの蒲焼がわれわれの食卓にならぶことでしょう。楽しみにして待っていて下さい。

[平 田] この間テレビでやっていたのは、このことですか。

[長 濱] はい、そうだと思います。DHPを用いることで、排卵された成熟卵を任意に得ることができるようになり、ウナギの人工養殖が実現する日も近いと関係者は期待しているのです。まだ、飼料の問題が解決されておりません。正常と思われる成熟卵を得ることができても餌が問題でまだ成魚まで育てることができないのです。今、東京大学海洋研究所の研究船が台湾沖へ行き、ウナギの稚魚（レプトケファルス）をプランクトンネットで捕獲し、ウナギの稚魚が何を食べているのかを調査しております。ウナギ稚魚の自然食がわかれば、人工成熟・採卵で得られたウナギの稚魚に与えて成魚まで育てることが可能となるのです。

一方、私が所属します生殖生物学研究部門の教授で、基生研の第2代所長である金谷晴夫先生は所長に就任後間もなく急逝されたのですが、先生は1960年代の後半にヒトデの卵成熟誘起ホルモンが1-メチルアデニン（1-MeAde）であることを突き止めておられました。DHPと1-MeAdeがそれぞれ魚類とヒトデの卵成熟誘起ホルモンです。DHPはステロイド、1-MeAdeは核酸、です。

では、それぞれのもつ作用の種特異性はどうか。DHPはメダカやほかの多くの魚類の卵成熟誘起に効果はありますが、マウスを含め魚類以外の卵にはあまり卵成熟誘起効果はありません。一方、1-MeAdeについても、魚類をはじめとして脊椎動物の卵には効きませんし、

ほかの無脊椎動物にも効きません。したがって、卵成熟の第一と第二の制御因子は、物質と作用の両面において種特異性が高いといえます。

ところが、第二の制御因子が働いて卵内に新しくつくられる卵成熟の第三の制御因子については、すべての生物で共通であると考えられています。そのことを実証する実験について説明します。例えば、DHP で成熟させたメダカ卵から細胞質を吸い取って、それをヒトデ未成熟卵に微小注射します。メダカ成熟卵の細胞質を注射されたヒトデ未成熟卵は、自身の卵成熟誘起ホルモン 1-MeAde を処理されなくても成熟します。逆に、1-MeAde で成熟させたヒトデ卵の細胞質をメダカの未成熟卵に微小注射すると、メダカ未成熟卵は、自身の卵成熟誘起ホルモン DHP を処理されなくても成熟します。

これらの実験から、卵成熟の第三の制御因子の活性は動物種を超えて広く共通であるという結論になります。すなわち、maturation-promoting factor (MPF) の活性は、ヒトデとメダカで互換性があるということが明確にわかります。

次に、ヒトデ、キンギョ、ツメガエル、ウズラ、マウスなど、いろいろな動物種で同様な卵細胞質の微小注射実験を現東京工業大学の岸本健雄教授らが行いました。前述したように、マウスやウズラのいずれにおいても、まだ第二の制御因子（卵成熟誘起ホルモン）の化学的実体はわからないのですが、自然状態で成熟した卵は得ることができます。自然成熟したマウスの成熟卵細胞質を、例えばツメガエルやヒトデに微小注射しますと、それらの卵は成熟します。

したがって、多細胞動物の卵中で卵成熟誘起ホルモンの働きで新しくつくられる卵を成熟させる物質の活性は、ヒトから少なくとも線虫、あるいはその下まで、完全に共通であるということがわかりました。この活性が MPF であり、多くの動物種の減数分裂に共通なのです。

では植物はどうでしょうか。われわれは沖縄に行って、ユリを採ってきました。沖縄のユリはテッポウユリです。このユリは大きな薬をもつのですが、これからパキテン期の花粉母細胞を分離して、すりつぶした後にキンギョやアフリカツメガエルの未成熟卵に微小注射します。そうすると、どちらの卵も成熟します。したがって、MPF は動物種間の減数分裂に共通であるばかりではなく、高等植物でも共通であることがわかります。

では、生殖細胞ではなく、体細胞ではどうでしょうか。哺乳類の培養細胞の細胞周期を M 期に同調させ、ヒトデやカエルの未成熟卵に微小注射すると、注射された卵は成熟します。これらの結果から、MPF 活性はあらゆる生物種間に共通で、しかも減数分裂、体細胞分裂にかかわらず、細胞分裂を促進する因子であることがわかりました。

カエルの成熟卵に MPF が存在することを最初に微小注射により証明したのは、カナダ・トロ

ント大学の増井禎夫先生です。プロゲステロンで成熟した *Rana pipiens* 卵の MPF を同種のカエルの未成熟卵に微小注射したところ、プロゲステロンを処理しなくても卵は成熟したのです。この成熟卵中に存在する未成熟卵を成熟させる因子（物質）、それを MPF と名づけたのです。1971年のことでした。

ご存じだと思いますが、2001年に「細胞周期の主要な制御因子の発見」の先駆的な研究に対して、リーランド・ハートウェル、ティモシー・ハント、ポール・ナースの3人にノーベル生理学・医学賞が授与されました。ハートウェルは、チェックポイント、ハントはサイクリン、さらにナースは Cdc キナーゼの発見ということです。彼らが発見した「細胞周期の主要な制御因子」とは、実は古く 1971年に増井先生がその存在を最初に実証した MPF そのものであったのです。ノーベル賞は同時受賞が3人までということで、残念ながら増井先生は受賞者の中には含まれなかったとのことでした。

すでに触れましたように、卵成熟は生物の存続にとって不可欠な生命現象です。その重要な生物過程を制御する3つの制御因子のうち、第一と第二の因子については生物種間で多様性があります。多分、外部からの刺激（環境要因）に反応するための手段として、個々の生物種が特有のホルモン因子（もちろん近縁な生物種では共通な場合も多々ある）を獲得してきたのではないのでしょうか。ところが、卵成熟に際して卵細胞質内で新しくつくられる第三の制御因子、卵成熟誘起にもっとも基本的な MPF は生物種間で共通なのです（図1）。

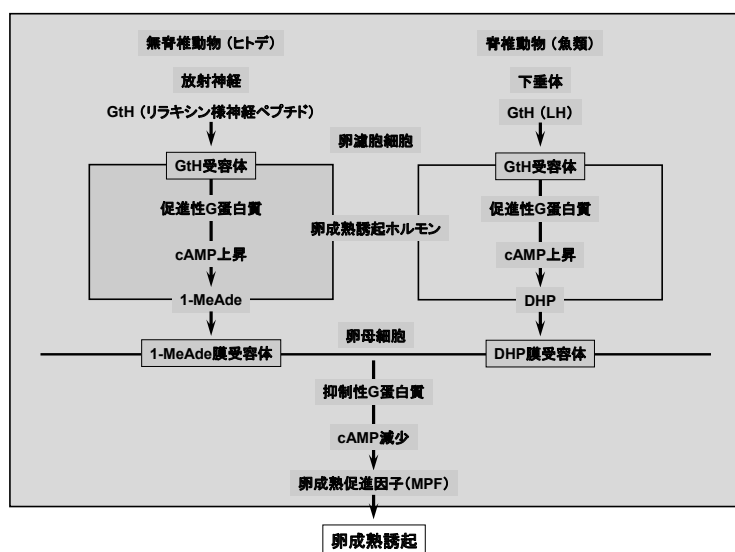


図1. ヒトデと魚類における卵成熟誘起メカニズムの共通性と多様性

性決定/分化メカニズムの動物種間における共通性と多様性：

次に、性決定/分化メカニズムの共通性と多様性についての話をします。脊椎動物の性は、受精時における性染色体の組み合わせにより遺伝的に決定されるのが普通です。1990年に、アンドリュー・シンクレアとピーター・グッドフェローらによりヒト性決定遺伝子 **SRY** が発見されました。一方、哺乳類以外の動物では **SRY** のホモログ遺伝子を探索する研究が世界の多くの研究室で活発になされていました。われわれも、**SRY** の部分配列をピーター・グッドフェロー教授から直接譲り受け、魚類や両生類などを対象として **SRY** ホモログの探索を徹底的に行いましたが、結果はいずれもネガティブでした。

この段階でわれわれは、性が哺乳類と同じように遺伝的 (**XX**、**XY** 型) に決まることが知られていて、遺伝学を駆使することができるメダカは性決定遺伝子を同定するための研究モデルとして最適であると判断して、新潟大学の酒泉 満教授らとともに、遺伝学的・分子生物学的な研究手法 (ポジショナルクローニング、クロモソームウォーキング、ショットガン法による塩基配列の決定) によりメダカの性決定遺伝子の探索を行いました。5年間にもおよぶ悪戦苦闘の末、メダカの性決定遺伝子の候補として一つの遺伝子を絞り込むことに成功しました。この遺伝子の構造をあらためてじっくりと解析したところ、**SRY** とはまったく遺伝子構造が異なっていて、ショウジョウバエと線虫の性発達に関わる **DM** ドメインを持つことがわかりました。そこで、その特徴をとってこの遺伝子を **DMY** (**DM-related gene on the Y chromosome**) と命名しました。さらに、メダカの性決定遺伝子としての決定的証拠を得るために **DMY** の機能欠失実験 (**loss-of-function**) と機能獲得実験 (**gain-of-function**) を行ったところ、予想通り、前者では遺伝的 **XY** メダカが性転換してメスとなり、後者では遺伝子 **XX** メダカが性転換してオスとなりました。したがって、**DMY** はメダカの性決定遺伝子であるための必要にして、十分な条件を備えていることが実験的に証明されたわけです。こうして **DMY** は哺乳類の **SRY/Sry** に次いで脊椎動物で同定された2番目の性決定遺伝子として認知されることになったのです。

次に、最近行った **DMY** の機能欠失実験 (**loss-of-function**) の結果をビデオで紹介します。この実験では、遺伝的にはオス (**XY**) であるメダカの受精卵中の **DMY** を微小注射によりノックダウンした後、4カ月間にわたって水槽中で飼育しました。このメダカは遺伝的にはオスですので精子をつくるはずですが、驚くことに卵巣が大きく発達して卵をつくったのです。このビデオでお腹が膨れているのがご覧いただけるとと思います。このメダカを引き続き単独で水槽で飼育していたところ、ある朝、このメダカが産卵しているではありませんか。翌日、このメダ

カが産卵する様子をビデオで撮影しましたのでお見せします。お腹を大きく膨らませ、排卵された卵を懸命に水中に産み落としている様子を観察することができます。

ここで、DMY の遺伝子構造について簡単に説明します。DM ドメインを有する構造から考えて、DMY は少なくとも魚類間、あるいはメダカ間で共通な性決定遺伝子ではないかと予想しました。ところが、その予想は見事にはずれることとなり、DMY は、ハイナン（中国）メダカ (*Oryzias curvinotus*) と日本のメダカ (*Oryzias latipes*) の種分化過程で、常染色体上の DMRT1 遺伝子が重複化して生じたことが明らかになりました。こうして、20 種におよぶメダカ種のうちでもっとも最近に種分化したとされる 2 種のメダカにのみ DMY が存在することがわかったのです。DMRT1 はすべての動物に存在するのに、DMY への重複化がどうして 2 種類のメダカでのみ起こったのでしょうか。期せずして、脊椎動物における性決定遺伝子の驚くべき多様性をはじめて実証されることとなったのです (図 2)。

| | <i>SRY/Sry</i> | <i>DMY</i> | <i>DMRT1</i> |
|------------|----------------|------------|--------------|
| 魚類 | | | |
| メダカ | — | + | + |
| ハイナンメダカ | — | + | + |
| ルソンメダカ | — | — | + |
| メコンメダカ | — | — | + |
| ジャワメダカ | — | — | + |
| フグ | — | — | + |
| ゼブラフィッシュ | — | — | + |
| ティラピア | — | — | + |
| 両生類 | — | — | + |
| は虫類 | — | — | + |
| 鳥類 | — | — | + |
| 哺乳類 | + | — | + |

図 2. 脊椎動物における性決定遺伝子の多様性

一方、SRY 遺伝子や DMY 遺伝子の有無を引き金として始まる生殖腺の性分化過程を制御する因子、遺伝子群には、共通なものが多いことがわかってきました。ただ、魚類（おそらく、鳥類や爬虫類などの卵生脊椎動物でも）では卵巣分化の初期過程でエストロゲンが決定的な役割を果たすことがわかりましたが、これは、胎児が母親体内のホルモン環境で育つ哺乳類とは大きく異なる点です。

われわれはメダカの性決定遺伝子 DMY を発見したことを契機として、日本科学未来館のバイオ上級遺伝子コースで、オスになる遺伝子をメダカから探すという講習を何度か行いました。

この講習では、メダカの尾鰭（すぐに再生する）から抽出したゲノム DNA から PCR によって DMY 遺伝子を電気泳動によって増幅しました。最近では、この方法はメダカのセックスチェックに使われております。

メダカでは、生殖腺の性分化が起こるのは早く、孵化時にはすでに生殖腺のオスとメスの区別はつきます。当然のことながら、性決定遺伝子 DMY の発現は生涯を通して XY 生殖腺に限られますし、その最初の発現は孵化前の遺伝的オスの生殖腺で起こります。遺伝的メスマダカがアンドロゲン処理によりオス化する場合にも生殖腺での DMY の発現が起こることはありません。また、遺伝的オスをアンドロゲン処理した場合にも DMY の発現が高まることはありません。したがって、エストロゲンやアンドロゲンなどの性ホルモンが性決定・生殖腺の性分化カスケードで影響を及ぼすのは、性決定過程そのものではなく、性決定遺伝子の下流、すなわち生殖腺性分化の過程であることが明らかになりました。

最近、魚類や両生類などの水生動物で、環境水中の内分分泌攪乱化学物質（環境ホルモン）などの影響と思われる性転換や性分化の異常が国内外で頻りに報告されております。しかし、これまでは遺伝的な性と表現型とを正確に識別できるような生物種は存在していませんでした。今回、哺乳類以外の脊椎動物で性の遺伝的なマーカーとなる遺伝子が世界で初めてメダカで見られましたので、この方法（メダカのセックスチェック）も用いることにより、内分泌かく乱化学物質（環境ホルモン）による魚類の性に及ぼす影響を正確に評価することができるようになりました。

河川水に混入した内分泌かく乱化学物質は生まれたばかりの稚魚を性転換させて性比のバランスを乱すのではないかと懸念されています。野生メダカ集団には約 1% の割合で DMY をもつメス（XY メス）が存在することがわかってきましたが、全国各地から探し出した XY メスの遺伝解析から、XY メスの出現原因は Y 染色体の変異であることが新潟大学の研究者らによる調査から明らかになりました。したがって、幸いなことに、これまでの日本国内のメダカを対象とした調査では、内分泌かく乱化学物質によるオスからメスによる性転換は見つかっていません。今後も、メダカは野生集団における性異常/性転換を正確に判定できる貴重な研究モデル生物として、国内外で大いに注目されることになると思われます。

その一方で、内分泌かく乱化学物質の影響に関して重要な論文が 2005 年に *Science* 誌に発表されました。米国・ワシントン州立大学のマイク・スキナー教授らの研究グループによる「Epigenetic Transgenerational Actions of Endocrine Disruptors and Male Fertility」に関する研究です。著者らは、エストロゲン作用と抗アンドロゲン作用をもつ 2 種の内分泌かく乱化学物質（農薬）

を妊娠 8~14 日に投与しました。そして、この母親から生まれた雄では、1 世代のみならず、正常メスラットと交配して得られた少なくとも 4 世代までは、その後化学物質の暴露は受けていないにもかかわらず、精子形成の低下が世代を超えて継続していることを見出しました。さらに、精子に発現する 15 の遺伝子を調べたところ、2 世代、3 世代の精子でもメチル化パターンが変化していたことから、オスの生殖系列により、DNA メチル化のパターンが世代を超えて伝えられる可能性があるかと結論しております。

日本では現在、内分泌かく乱化学物質といわれる DDT や DES は使用禁止となっておりますが、インドや中国などではいまだに使用されていると聞きます。例えば今は使用されていないとしても、30 年前に DES を処理されたお母さんから生まれた子供はどうなのでしょう。服用を中止しても、ずっと世代に伝わっていく危険がないとはいえないかもしれません。

ただ、スキナー教授らの上記の研究結果に疑問をもつ研究者も少なくなく、現在この研究に関する追試が世界のいくつかの研究室で活発に行われております。この 4 月にハワイで開催された脊椎動物の性に関する国際学会でも、スキナー教授の研究室のポストドックが参加していて、最近のチップアッセイを用いた解析から、上記の結論を支持する結果を報告していました。今後、環境ホルモンによる世代を超えた影響（トランスジェネレーション）のメカニズムを詳細に調べる必要があるようです。

長々とお話をしましたが、私達は生物がさまざまな環境に適応しながら作りだしてきた「性と生殖の基本的システム」について、より広い視点から自然科学的に深く理解するための研究を行っています。すでにお話しましたように、ヒトデの生殖腺刺激ホルモンの化学的実体を明らかにするのに、3 つの大学の研究者が協力しながら共同研究をしていますが、30 年を超える年月が経ってしまいました。もちろん、個々の研究者がこの研究ばかりを行ってきたわけではありませんが、研究対象によってはしっかりと研究成果を出すまでには長い年月を必要とする場合が多いのです。2 年や 3 年ですぐに結果を求められてもなかなか難しいのです。(拍手)

[平 田] ヒトデですが、ヒトデの種類は選ばないのですか。

[長 濱] これは選びます。選ぶというのは、リラキシンがほかのヒトデの成熟にも効くのか、あるいは他の棘皮動物にはどうかをいま調べています。必ずしもすべての棘皮動物には効かないようです。

[平 田] オニヒトデがいるでしょう。あれをいっぱいつかまえてもらって、研究をやっていただくと。

[長 濱] いま、それも一緒に調べています。

[廣 田] 生物の多様性を非常に強調されているのですが、ご研究をされているのを見ると、そういう中から「あれにもあったぞ」というような共通点が一つの重要なファクターのように思うのです。

[長 濱] 多細胞動物で卵を成熟させる物質の活性がすべての動物種で共通であるということを知って、とても驚きました。ただ、最初の部分（外部環境との接点）は、動物種の違いで異なっています。卵成熟の第二の制御因子である卵成熟誘起ホルモンがヒトデで 1-MeAde、魚類で DHP であり、物質的に核酸とステロイドの大きな違いがあっても、それらの働きで卵内に新しくつくられる第三の制御因子の活性はすべての生物種で共通である、というところは、生物は実によくできているように思いました。

[廣 田] そこに書いておられるように、より広い視点から自然科学的理解というのは重要だと。

[長 濱] これが正しいかどうかわかりません。でも私はそう思っています。

[平 田] あの因子の構造を決めるとかということは、やられているのですか。

[長 濱] ほかの人がやって、それがノーベル賞につながったのです。

[廣 田] まったく違う生物が、まったく同じようなことを使ったりして、そのへんがおもしろいですね。

[長 濱] リラキシンが無脊椎動物（ヒトデ）にも存在し、生殖（卵・精子の成熟、排卵・排精、産卵行動）の制御に重要な役割を果たすということが、われわれの研究からわかったことで、リラキシンがここにきて当該分野の研究者達から急に注目されるようになりました。今後、いろいろな視点から研究を進めることで、ヒトデからヒトに至るリラキシンの分子進化や機能の変化が明らかになっていくのではないかと期待しております。

[長 濱] ヒトデの場合にリラキシンというのが突然出てきて、僕らの研究で急に脚光というか、みんなの目に触れるようになったのですが、これからいろいろ調べていくと、やっぱり連続的にヒトにつながっていくのではないかと僕らは考えているのです。

[岡 田] それぞれ個別のものは組み合わせになっていますよね。これは常に上位のほうは個別で、あとのほうが共通とも限らないと思うのです。

[長 濱] その通りです。

[岡 田] そういうモザイク状というか、入れ子状態になっていると思うのです。先ほど廣田先生もおっしゃっていた言葉で、ロバストがあります。最近ロバストネスが常に問題になるのですが、そのときに、では共通の部分とユニークなところと、どちらがそのロバストなの

か。

あるいは、多様性を作るときには多様なほうがいいかもしれませんが、例えば絶滅する可能性があるときには、共通のところを叩かれたら一発でそのグループは全部だめになります。だけでも、そういかないようにするのは、遺伝子が重複するとか、あるいはいろいろなレギュレーションが変わっているとかで、それなりにロバストになっていると思うのですが、そのへんがいかがですか。

[長 濱] 確かに、その点は非常に重要な点だと思います。お話した卵成熟誘起のメカニズムについても、第一制御因子が卵濾胞細胞に働いて第二制御因子（卵成熟誘起ホルモン）の生産を促進するというところは脊椎動物（カエル、サカナ）でもヒトでも共通ですが、これら3種の動物で卵成熟誘起ホルモンの物質自体は異なります。すでに触れましたように、最近、カエルではテストステロンが卵成熟誘起ホルモンであるという報告がなされました。そうすると、カエルとサカナではいずれもステロイドですが、アンドロゲンとプロゲステゲンという性質が大きく異なる性ステロイドが第二制御因子であるということになります。また、ヒトでは、核酸である1-MeAdeが卵成熟誘起ホルモンです。これらは岡田先生が指摘されたレギュレーションが変わった例にあたるかもしれません。一方で、メダカの性決定遺伝子DMYは、20種類におよぶメダカ属のうち、もっとも最近に種分化した2種類のメダカ（ニホンメダカと中国メダカ）でのみDMRT1からの重複化により生じたと考えられます。これは先生が指摘された重複化の例になるかもしれません。

[長 濱] この点について、ほかに何かありますでしょうか。

[岡 田] やはり生物がシステムなので、情報制御のシステム、物質の制御とも同じで、たぶんその特定のネットワークを維持するようなシステムがあって、ある部分はもちろん変えられるし、ある部分、コアになる部分は変えられないということなのではないかなと思うのですが。

[長 濱] 岡田先生、どうですか。

[岡 田] 僕の質問は、進化の間で、それなりにいろいろな試練にずっと耐えてきているわけです。だから、いろいろな種類の生物が同じような試練にさらされたというのはもちろんなくて、それぞれ個別のものだと思うのですが、そのときに、強かったものと弱かったものというものは何というか……。

[長 濱] 生き残ったもの。

[岡 田] 生きものは強いところと弱いところとあるはずで。それが共通の部分とユニー

クなところというので、何か区別ができるのか。そういう見方は、そもそも違うというか、全然次元の違う話で。

[高 畑] 硬いところと柔らかいところは必ずあって、あとはもう偶然的にどんどん変わっていくので、時間が経つと、その弱いところに何か影響があれば、それは絶滅してしまう時期と、そのまま弱いところが多くても、のうのうとして環境がよければ何となく生き残るので、かなり偶然の要素との兼ね合いかなという気がするのですが。

[岡 田] ただ、逆に言えば、弱いところがあるからこそ、ある種、進化がどんどんいけるのかもしれないです。

[長 濱] そうですね。

[永 山] カエルというか、両生類は特に化学的な物質の環境の変化に弱いという理由は何ですか。

[長 濱] はっきりとした理由はもちろんわかりません。例えば普通の海だけにいるものは海だけの影響ですが、オタマジャクシから陸に上がるときに違う環境になる。そういう説明です。それは本当かどうかわからないですよ。2つの異なる環境にエクスポーズされるから。

[永 山] むしろいろいろな違う環境にエクスポーズされるチャンスが大きいと言っているのですか。

[長 濱] チャンスが大きいというか、悪いものに対してですね。

[平 田] もともと両生類は、おそらく生き残るため二つの環境に適応できるように選んだのでしょね。だからそれが逆に出る。それがかえって災いをするというか。

[長 濱] 両生類は陸上生活をする最初の脊椎動物でしたが、現在でも一生の半分は水中で、半分は陸上で生活しています。皮膚が粘膜で覆われていることが、両生類が環境の変化に弱いといわれる理由の一つです。

[平 田] すごく違うものはありませんね。それが必然性というのは、わかっているのですか。

[長 濱] わかりません。

[平 田] 違うことがすごくその生物同士のメリットになっている。

[長 濱] 20種におよぶメダカ種のうちでもっとも最近に種分化したとされる2種のメダカにのみDMYが存在します。精巣形成に重要な働きをするDMRT1がメダカ属のすべての種に存在するにもかかわらず、DMRT1からDMYへの重複化がどうして2種類のメダカに限定されたのでしょうか。このことが2種のメダカにとってどのようなメリットがあるのでしょうか。

いずれにしても、この発見により脊椎動物における性決定遺伝子の驚くべき多様性がはじめて実証されたのです（図2）。

最近、メスを決める DM ドメイン遺伝子が雌ヘテロ型（ZW）で W 染色体を持つアフリカツメガエル（*Xenopus laevis*）で見つかったのです。この遺伝子は W 染色体に見つかったので、DM-W と名づけられました。脊椎動物で初めてメス決定遺伝子が見つかったのです。ところが、この DM-W は近縁種の熱帯ツメガエル（*Xenopus tropicalis*）には見つからないのです。ここでも、性決定遺伝子の驚くべき多様性が示されることになったのです。

[平 田] いまのところは、自然のいたずらと考えるのがいいのですか。

[長 濱] そうかもしれませんね。とにかく、今のところ DMY や DM-W の驚くべき多様性を説明する確かな答えはありません。

[廣 田] 性というのはだいたい何もなかったらメスになる、そこに何かがあってオスになると理解していたのですが、それは。

[長 濱] 哺乳類などの XY 型の雄ヘテロでは、確かに、Y がなければメスになりますし、Y（性決定遺伝子）があればオスになります。しかし最近、マウスやヒトの性決定/分化機構の過程で、積極的にメスにする遺伝子がいくつか見つかっています。したがって、これまでのように SRY という遺伝子がなければメスになるという単純な説明では十分ではないと思います。

[廣 田] オス、メスを作るというのは、きっと高畑さんから教わったのだと思いますが、やはり生物の一つの戦略ですね。

[長 濱] そうです。

[高 畑] もう 20 億年ぐらいやっています。

[廣 田] そのほうがやっぱり安定性が高く。

[高 畑] 多様性を増すために。

[長 濱] それも環境に適応しやすいとか。

[廣 田] なかなか難しいです。

[長 濱] 難しいですね。

[高 畑] エピジェネシスが世代を超えるという最後の話ですが、先生の気持ちとしてはラマルキズムを復活させたいと思っているのですか。

[長 濱] そこまでは……。別の機会にしましょう。

[高 畑] では別の機会です。

[長 濱] この問題は重要ですので、近々、基生研の生物学国際高等コンフェレンス (Okazaki

Biology Conference、OBC) で十分に議論するのがよいのではないかと考えております。そのときは是非、先生もご参加下さい。

[高 畑] はい。

[宇 理 須] 少し遅れ気味なのですが、10分休憩させていただきます。

(休憩)

[宇 理 須] それでは次のテーマに移らせていただきます。生理学研究所教授の永山國昭先生に「進化系としての科学と文化」というテーマで講演をお願いいたします。よろしくお願いいたします。

[永 山] 私も高畑先生と同じで、まったく自分の専門分野ではないのですが、私は言ってみれば、思想的基盤は進化論で、そのところをやはりきちっと見据えた話をしようかと思っています。

進歩主義と進化論、進化主義は同じかという話ですが、たぶん同じものではないと思っています。ただ、われわれ自体が進化系にいるという認識は非常に重要です。進化系の一つというのはずっと昔からつながっているわけで、やはりの起源を問うというか、先ほどの同一か、違うかといっても、元をたどればどこから来ているのです。そういう話をきちっとやらないで、現状だけを見ていると話はなかなか続かないと思います。

まず最初は自然科学ですが、私の立場は生物物理で、いま顕微鏡を開発しています。私は、もう一つ、実は JST の事業統括という職を持っていて、JST に毎週行っています。今年の4月に改革が行われ、いわゆるイノベーションとコミュニケーションという二本柱の事業部が作られ、私は10年以上付き合っているのですが、科学コミュニケーション事業を手伝っています。

例えば今週の初めは長野県にいたのですが、田舎の小学校の3、4年生の子どもたちに、実験を見せてきました。10年以上、そういうこともやっていますが個人的には、いま言ったように進化論を受容しています。

市川惇信さんは社会技術センターのセンター長で、東工大の教授でした。社会科学、特にサイエンスをベースにしたことをやっています。この本は非常にいい本です。科学とは何かということを理解するときに、やはりこれを読まないはずではないかと思えます。一つは、先ほどから言っているように、科学、特に西洋科学は当然進化の賜物でして、ギリシャ以来の流れ、自然哲学が二分化されて、それが哲学と科学になった。ただし、このあたりの科学といまわれわれの言う近代科学はかなり違って、近代科学自体が進化の賜物で、非常に洗練されていますが、そのあたりを非常に議論しております。

彼は科学が進化する五つの条件を言っているのですが、一つは言語能力です。要するに科学はやはりタームが必要です。一番重要なのは整合的世界を扱うということで、この意味はあとで言います。それから経験知を扱う。先験知ではない。それから目的論ではなく過程論である。最後にそのバックにある科学の発達を許す文明社会が必要である。

彼はこういう中で、日本は科学が進化する五つの条件を非常に持っている、はっきり明確に論じています。それは歴史的に、たまたまいろいろな意味で非常に有利な点があって、西洋科学を受け入れて、この150年でアジアのほかの国から見てこれだけ伸びた。非常に進化に依拠した深いものがあるのだらうと、そのあたりのことを彼はきちっと言っています。

その定義、科学の本質ですが、彼の話では、われわれ人間世界はもう矛盾だらけだというのが大前提です。私もそう思っています。ただし、これは非常に大事ですが、自然が無矛盾だと彼は言うのです。そして自然科学をやるということは、無矛盾の自然世界を矛盾がある人間世界に写像するプロセスだと彼は言うのです。だから非常に難しいわけです。

人間世界ではいい加減な議論が簡単にできるわけです。われわれは言語体系の中にいると、非常に簡単に矛盾を表現できます。例えば、クレタ人は嘘つきと、平気でクレタ人が言ってしまふわけです。そのときに、自分が嘘を、変なことを言っていると感じないんです。矛盾していることを言っているというのはなかなか感じません。

しかしシンボルとしての言語表現が表れると、その脳内過程自体は物理法則ですが、その言語の中での世界は相矛盾することを表現できるという意味で、矛盾が生じるということ強く主張しています。もう一度言うと、基本的に人間社会、言論世界の中における矛盾を許すいろいろな状況、言葉、それが社会的ないろいろな人間関係を含めて、矛盾を許すことがいくらかでもある中で、どうやって非常に明確にその言語社会、言語を使って自然という無矛盾体系を写像するかということが科学の本質だと言っています。

科学が扱える形式知というか、知の形を、彼はこの立体表現で示しています。まず整合的世界がすごく重要です。われわれの世界は矛盾世界です。僕もずっとそう思っていました。自然科学にきた一番の理由は、私は無矛盾の世界を扱いたいと思った、たったそれだけの理由です。

整合的世界とは何かというと、二つある。一つは、物質的自然という法則性に彩られた世界。もう一つは、法則プラス遺伝情報の世界です。しかも一方的な、シグナル性の遺伝情報です。僕は、これは非常に重要だと思っているのです。整合的世界を扱うということで、扱える世界はまず半分になりますから、ほとんどの日常的人間世界は扱えないです。

もう一つは、過程論であって、目的論ではない。ですから目標的な議論はしません。それか

らもう一つは、先験知ではなくて経験知である。結局こういうふうに見ると、科学が扱える領域は非常に狭い。そんなことは当然だと、われわれは日々感じているわけです。ほとんどのいわゆる日常的な世界のいろいろな経験に対して科学はある意味では無力です。だけど、そういうことを非常に厳しく制限してやってきたから、逆に成功したわけで、そのところが科学のよさですが、それを彼は一つのモデルとしてこういうふうにとまとめています。

大事なことは、進化系だというときに機能要件があるのです。まず自己複製子というか、要するに遺伝的な自己が存在しないといけません。それが、かつ変異することと、その間での変異した自己複製子の間にたくさんの相互作用があつて、淘汰圧、競争関係が働くことが進化系としての要件として必要だと言っているのです。もう一つ大事なことが、ここです。それだけたくさんの自己複製子が存在する世界を支える資源と外部環境が必要ということです。われわれは進化系としていまここが非常に問題になっている。もうさっき言った有限系の問題が出てきているわけです。

あとで人間文化も全部進化系だということを論証したいんですが、科学はそういういろいろな文化の中で最も強力な、厳格な進化系だろう。われわれはいろいろな自分の理論とか考えるということを受け継ぎながら何かを足していくわけですが、それらが、ある意味で戦うわけです。自然と対応させながら、検証しながら、しかし、いろいろなモデルがあつたときに、それらの間での丁々発止の中で、どっちが正しい、どっちが悪いということは決定できるという非常に強力な進化系というふうになります。

では、進化系というのはどうやって定義するかというのが、次の話です。こういう話をするとき、一番影響を受けたのは、ある意味で哲学者と言ってもいいのですが、実はマイケル・ポランニーという人です。この人はポランニー一族という、ハンガリー出身の天才家系ですが、お兄さんがノーベル賞をもらっている方だと思います。だいたい化学者の系統ですが、彼自体は表面科学から科学哲学に移った方で、科学哲学の時代でのいろいろな仕事のほうが世の中の非常に影響を与えています。私だけではなくて、欧米のサイエンティストからも彼のことをよく聞きます。30年ほど前、生命の非還元的構造ということ論文をサイエンス誌に発表しました。

その一番の骨子は、生命のメカニズムは人間の作る機械と同じである。その意味は、なにかということ、機械は物理法則で動きますが、その機械のいろいろなデザインとかそういうものは物理法則ではないということです。それは情報とも言っているし、境界条件とも言ってもいいし、デザインとも言ってもいいです。それは完全に独立であり、これ部分を非還元的と言ってい

ます。この二つの条件が非常に重要で、それが生命の本質と同じだと言ったのです。

例えば一番いい機械、分子機械として蛋白質を挙げますと、蛋白質はアミノ酸の組成でできていますが、重要なことは、配列情報は遺伝というかたちで外から来ます。いったん配列情報を与えられると、ある意味で、自由エネルギー最小則で形を作る。すなわち遺伝情報の中に形の情報は無いのですが、最終的に形を作るのは、二重制御として、いわゆる物質過程といわゆる情報的な境界条件とその両者が必要だということです。

このことは、あらゆる局面に表れるだろうと思います。複雑なネットワーク構造を私はそういうかたちで表現しますが、例えば、いまの話はこういうことです。その複雑なネットワーク構造が代替機能を生む。例えば蛋白質の機能というのは、その構造に依存するわけですが、その構造の根源は遺伝情報から与えられる。まさにそこにある種の複雑さが込められています。その遺伝情報と協働した物理法則によって形が作られるんですが、大もとの、どれとどれがアミノ酸のつながりであるかということは遺伝情報以外では与えられない。

一番いい例は、アミノ酸をぐつぐつ煮ると、プロテノイドといって、蛋白様のものができます。どういうことかという、いろいろなアミノ酸の長さの勝手な配列ができますが、ほとんどそれは蛋白ではないわけです。なぜかという、そういう状態での蛋白構造というのは、明確なこういう機能構造を持ちえない。きちっとした構造を取る高分子の生成確率はゼロです。

そうすると、その確率をゼロでなくする方法としては親からもらう遺伝情報しかないという意味で、やはり外部要因としての境界条件、情報が必要だということです。神経のこういう細胞では、蛋白質のネットワークで、その中に機能があります。さらに、その細胞を多数つないだネットワークが脳の機能を生む。これは、逆にどんどん下に降りていくと、結局は遺伝子にくわけですが、ここに来るわけです。それがまさにわれわれの知っている階層構造の意味です。

二重制御論がすばらしいと思ったのは、私の理解では、これは機械論と有機体論の統合なのです。上から見れば、それは生命有機体論に見えます。それはなぜかという、親からしか情報を与えられないという意味です。しかし下から見ると、機械的に決まっているじゃないか、物理法則があるじゃないですか。だから生命機械論は両方を言っているのです。こっちを主張すると、機械論に見えるし、こっちを主張すると、有機体論に見えます。なぜかという、これは上からしか情報が来ないからです。これは同じことです。一つのもので、これとこれは統合するべきものなのです。

問題はもう一つあります。では、この情報はどこから来るのですか。この問題がどうしても残ります。それは、結局は生命の起源と関係するはずだというわけです。そのことを論じたの

が、アイゲンです。マンフレード・アイゲンはドイツの物理化学者で、1960年代に化学緩和法という方法でノーベル化学賞を取っています。

彼の化学緩和法のいろいろな理論の発展形態として、アイゲンの進化方程式が1970年代に提出されました。これは現在ご存じのように、コンビナトリアルケミストリーとか進化分子工学とさまざまなものが発展しています。例えばこの間ノーベル化学賞を取った GFP だって、いろいろな種類の七色の発色ができました。あれは全部進化分子工学を使っているのです。その根源は彼（アイゲン）です。進化分子工学は彼が立ち上げたのです。彼はそのとき、RNAを使ったのですが、そういう RNA の自己触媒系を作る化学ネットワークの中からいろいろやっているうちに、自己複製系が生じて、その中から遺伝コードが析出することを証明しております。

ここはこう言いたいのです。遺伝コード、もしくは遺伝情報と自己複製系の確立は、ある意味で等価なのです。情報ということを行ったとき、何か伝わっているということは同じものが伝わっていくという中にその情報が載らない限り、いわゆるエラー・カタストロフィーといって、形とか情報をバックアップするのをいい加減に拡散してしまうのです。ある明確な形は取れないのですが、これをエラー・カタストロフィーといいます。

[平 田] いま RNA と言いましたね。

[永 山] RNA を最初に実験で使いました。

[平 田] この人は RNA が触媒機能を持つということを行ったわけですか。

[永 山] そういう話ではないです。RNA を自己複製子として使っただけで、ちょっと八百長くさいのですが、そのときにその既存の RNA ポリメラーゼを全部入れているのです。だから完全には再現していません。

[平 田] わかりました。

[永 山] ただ、一応ミニマム系として、いろいろなエンザイムを入れれば、RNA が勝手に自己複製して、ある有限の環境の中では最適な大きさと最適な配列になるということを証明したのです。

ですから情報の起源は、結局は自己複製系というか、生物とある意味で等価であるということになります。だから進化系1としての生物系は、ともかく自分と同じものを作るという過程で遺伝子が析出され、その遺伝子の変異が進化の多様性を生むというかたちでだんだん複雑化していったということです。そのことは、ある意味では、科学の化学的な意味での法則性の中でずいぶんつかまえるものであるということを彼は証明したわけです。問題はその後発展

した進化系2としての人間文化です。

次のお話ですが、私はもうエイヤと答えを出したのですが、やっぱり何か似ているのです。科学は強力な進化系だと市川惇信さんは言ってしまうわけですが、私の対応では、そんな感じです。やはり個体が一種、進化系における一つの複製単位、自己複製のユニットみたいなものだとすると、その個体間の相互作用でいろいろなことが起こる。

その個体を作っているものの大もとを見て、細胞の中で1個の個体を見てみると、いろいろな信号のやりとりをしながら、一つのネットワークを作って、ユニットを作っているわけです。これを人間世界に対応させると、ヒトがいて、脳があって、言語があって、一つの相互作用系を作っている。例えば1個の文化、日本語、日本文化みたいな感じで、日本社会といってもいいですが、相互作用系を作っている。

ただ、ここで大事なことですが、たぶん相互作用の質が違うのです。そこが非常に重要なことだと僕は思います。シグナル情報系とか、シンボル情報系というのは、私の術語ではありません。そういうことは社会学者が一生懸命言っています。私の理解を述べると、こういうことです。間違っている可能性が高いのですが、これは私の理解です。

生命の進化系1は相互作用を司る情報というか、この場合は遺伝情報ということではなくて、いわゆる生物的信号の意味ですが、この信号の大もとをたどると、もちろん遺伝情報と関係していますので、こういう関係という理解をしています。遺伝情報のように情報コードするものと、情報対象が強い相関を持つ。

言語というのは日本語も英語もいろいろあるわけです。ところが生物の場合の遺伝コードはもうすごく決まってしまうと、しかも、そのATGCというのに乗っかってしまっているという意味では、非常にATGCという物質と切り離せないようなかたちです。本来、情報というのは、われわれが理解している限りでは、それが紙の上で書かれようが、こういうスクリーンの上に載ってようが、情報としては、この字はいつでも同じ字だと理解するわけです。だけど、生物では非常に強い相関を持っているわけです。すなわち、特にその遺伝子というかたちで、指示されるものと指示するものが一体化されている。

この強い実体的な拘束条件の下、私の理解では、通常のいろいろな信号とか流れ、一番いいのは、遺伝情報の流れというのはDNAから蛋白に行って逆方向はない。それはまさにNon-Lamarckianで、それがダーウィン理論を含めた話として、いわゆる進化系の一番の大もとにある、ある種の原理で、一方向性ということが非常に色濃く刻印されています。

その一方向性の根源は、遺伝情報が持っているある種の物質的な要素としての硬さというか、

強い実体的拘束情報です。ともかく一方向の情報の伝達というものだけで、逆の流れがないということがあると思いますが、このことは、いろいろな局面にたぶん表れているのではないかと考えています。これが、進化系1の特徴です。

一方、これは有名なフランスの言語学者ソシュールが言ったわけです。言語のように情報コードは対象とするものと対象とされるものがまったく無相関で恣意的である。これは非常に重要なことです。すなわち、情報コードは物理的実体から離れて、完璧に記号化可能となる。そのために、双方向性の情報伝達が可能で、生物的シグナル情報にない飛躍を生む。生物系にない飛躍を生むと。つまり Lamarck 的な進化が可能だと言っているのです。

いわゆる Non-Lamarckian の意味は、遺伝情報の一方向性ということになっているのですが、そういう意味での情報、もしくは信号の流れは、こういうふうに完全に恣意的になると、情報コードと情報対象とされるものが Lamarck 的になります。Lamarck 的になったことがどういう意味を持つのかというのは非常に重要なことだと私は思っていて、そのところを深く問わないとまずいと思っているのですが、私にはそこは問えません。あとは社会科学か、人文系の方がそこをきっちり問うていただきたいと思います。

まとめると、こういうふうに理解しています。世界は3層ある。物理法則に支配される物質世界。月の上の世界なんか完璧にそうですし、宇宙もほとんどそうです。ともかく秩序原理として、人間がじたばたしても動かさようのない物理法則がある。それを初期条件、例えば、これはアミノ酸の存在、物質の存在そのものを条件として、それに新しいデザインとしての情報を加えると、ああいう蛋白質ができて、それが複雑に自己集積すると細胞ができて、それが集まると多細胞、そういう個体ができてくるという意味で、進化系1（ダーウィン系I）がこれです。

一番大事なことは、ここは飛躍ということなのです。飛躍というのは、還元できない。何が還元できないか。物質には情報がない。しかし生物には情報が重要です。だから分子遺伝学が重要なのです。僕は生物物理学者ですが、はっきり言えば、生物にとって物理はあまり重要ではないのです。ものを決めるという意味で、情報のほうが重要なのです。

では、人間系はどうなるかということ、われわれは生物ですが、さらによく言われる文化情報的なものを付け足して、特に言語だと思いますが、生物系にはない世界を作る。これを進化系2（ダーウィン系II）といいます。こっちは Non-Lamarck、こっちは Lamarck という関係です。全部、ある意味では、科学という体系も技術という体系も、こういう体系も進化系であるということです。

もっとも私にとっては、生物物理学では、物理法則が生物の中でどう関係するかを見ることがはわりと重要だったのですが、情報が物理原理とは独立であるとする、なかなかそのところで忸怩たるものがあります。このことがわかったのが 20 年前で、私は非常に悩みました。

それで僕は方針転換したのです。もう生物の中に物理法則を探すのはやめようと、はっきりそう思ったのです。それで生物物理の定義を変えたのです。生物を物理的手法で見るといって変えたのです。だから僕は一生懸命、手法、いろいろな機械を開発するのです。それは私の生物物理の定義だからです。すなわち生物を物理的手法で解明するということです。

それに何か法則性があるとか、特別なことはあまり考えない。生物自体が決めているんだからやはり圧倒的に重要なのは遺伝情報です。怖いことですが、物理法則というのは人智で変更不能です。これは向こう側のものです。

特に私が今日言いたいのは経済の話ですが、エネルギーのボルツマン法則と財の社会分布というのは、自由経済で非常にフェアに等価交換をしてたくさんやると、統計表現としてはほとんど等価なのです。自由経済で非常にフェアに等価交換して必ずボルツマン分布するのです。すなわち富の偏在が起こる。こんなのは自明であって、統計法則なのです。

だから税金を取って、社会的な富の再分配をしなくてはだめなのです。いろいろな不平等を倒そうと思ったら、国が関与しないなんてもうありえないです。僕に言わせると、こんな自明のことをわからず、何を血迷っているのかというのが、いまの経済です。

これは統計法則なので人間の力では、どうやっても変えられないのです。それを換えようと思ったら、特別な法を作って、政治を入れて、それで経済に介入しなくてはだめです。

一方、もう一つ重要なことがあって、本当は進化系というのは、未来に対し予測不能です。偶然が非常に作用しますので。次のステップに関して言うと、非常にたくさんの相互作用があって、いろいろな偶然があって、環境との対応の中で何か変化をする。しかも、その変化の多くは、生物の場合には偶然でしょう。何か理由があって、行っているわけではないですね。

ただしダーウィン系 II は Lamarck ですから、完全に予測不能かという、そうでない部分もたぶんあるかもしれないと考えています。未来を予測できるなら未来を変えられると。このあたりは、私もまだまだ非常に不明確です。人間社会も、時とともに情報が増えますが、その情報がどんな質を持つかということに関しては、非常に予測不能だと僕はつくづく思います。

自分たちがいま使っている携帯電話を 10 年前にすら誰も予測できなかった。インターネットも、これだけいろいろなかたちではやって、いろいろなことをやっているという新しい時代

を 20 年前に予測できた人がいるとは、僕にはとても思えないのです。未来予測はやっぱりとんでもないなという感じがします。

一番最後になるのですが、ともかく、二つのダーウィン系の対応ガイドラインとしたい。しかし、その質としては Non-Lamarck で、こちらは Lamarck 的であるということを深めないといけません。もう一つは未来予測不能性で、これを非常にまじめに考えなければいけない。何を言いたいかという、こうなるはずだと思って何かやっても、たぶん多くの事柄がうまくいかないのです。

進歩主義と言ったときに、何か一方的な、ある方向を持った定向的な変化をしているとは僕には思えないです。非常にランダムに動いているという感じがする。だから進歩主義といっても、たぶんその程度の進歩主義なのです。

高畑先生がいろいろな話を最後になさいました。その進歩主義で、あまりにもランダムで、ほっておけば、ろくでもないことが起こるような進化系である人間社会とか文化とか、特にサイエンスはそうですが、そういうものに対して、それに対する制御というコンセプトでもって、たぶん何か舵取りをしたいと思うのです。たぶん短期的には可能です。しかし長期が非常に難しいというのが、僕の未来予測不能性です。人間の英知ですから、しかも Lamarck 的ですから、フィードバックはかけられますので、そういうことも含みながらも、非常に大きな体系として、人間の英知がそういう未来予測不能性を取り込みながらも、なおかつ人間社会が減びないとか、完全にいまの環境問題で人間がだめになるということではないかたちは取れることもあるかもしれないと思います。

ただ、進化系の持っている怖さはジレンマです。成功すれば成功するほど、成功することが減びとほとんどいつかは等価になってしまうという怖さです。それは非常に怖いことです。そのあたりをどういうふうによく取り込むか。まさにそれは人間の英知の問題だと思います。以上です。(拍手)

[宇 理 須] これからは所属と氏名を簡単に言っていただけませんか。記録を取っていて、録音したものが、誰が話したかわからなくなりますから。どうぞ。

[中 村] 分子研の中村です。人間文化が予測不能というのはそのとおりだと同意しますが、結局おっしゃっているのは、生命系という。

[永 山] 人間文化が本当に進化系だというのであれば、予測不能です。

[中 村] それには同意するのですが、生命系のほうについても。

[永 山] だけど、予測不能でしょう。

[中 村] と考えておられるわけですね。

[永 山] 進化に関して言うと、まったく予測不能ですよ。

[中 村] 脳はサイエンスで解明できるとおっしゃったような気がして、びっくりしたのですが、そうではないですね。

[永 山] 人間の脳のビヘイビアはいまの現状を含めて、ともかく進化の過程でちゃんと解明されるべきものと思っています。

[中 村] それと予測不能とは、どういう関係があるのですか。

[永 山] 生物学というのは、現状での生物学をやっていますよね。これはこういうメカニズムを持っているとか、そういうのはサイエンスでやりますよね。それがどう変化するかという進化の問題に関しては、何が出てくるかは予測不能です。僕が言っている局面が違うのです。いまのわれわれの脳の働きを見て、例えば、感情的にどうリアクションするとか、それがどういうふうに生物のいろいろな、例えば、サルとか何かとの共通項があるとか、それも全部言えると思います。ただし人間社会総体として、それが 100 年後にどうなるかは誰も予測できないと言っています。

[中 村] それが人間文化の問題ですね。

[永 山] はい。そういう意味です。人間文化として。

[中 村] 予測可能であると思って。生命系は予測不可能ではないかと。

[永 山] 進化としてはやはり予測不能です。

[宇 理 須] それは突然変異で、どこのアミノ酸が変わるかわからないからということですね。

[永 山] それはそうです。完璧にランダムですから。

[中 村] 自然科学は無矛盾体系であるというのは、私はちょっと変なことを言いますが、必ずしもそうではないかもしれないと考えているのですが……。要素還元主義も、自然科学はそうかもしれないですが、自然が無矛盾かということと自然科学が無矛盾かということと、ちょっとまた違いますよね。

[永 山] そこはちょっと違いますね。

[中 村] それからこういうのがあるのです。自然科学ではないのですが、数学で不完全性定理というのがあります。

[永 山] はい。あります。

[中 村] ご存じですよ。

[永 山] はい。

[中 村] あれはどこにも矛盾なく完全な論理体系を作ってきたのです。ところが、実は数学が不完全であるということがわかったのです。ですから……。

[永 山] そういうことですか。その議論ですね。

[高 畑] 整合性ということをもう少しきちんと説明するとおっしゃいましたが、その部分ですね。物理的な世界は整合的で、自然は整合的であって、一つの原因に対して一つの結果しかないという意味合いです。

[永 山] そういう意味ではなくて、逆に言うと、矛盾というのはどういうふうに言うか、矛盾というのはどう考えるか。

[平 田] 矛盾というのは何かのひずみとか、そういうものでしょう。整合的ではないことを意味するわけで、そのためにいろいろなことが起きるといえるか、それが原因になって、いろいろな変化が起きるわけだから、進化もその変化の一つだとすれば、自然の中に矛盾がないという言い方は、逆に言うところちょっと変です。

自然の中の変化というのは、矛盾を基にして作り出されているところはかなりありますから。われわれは非常に簡単などというか、力学系でも、もう完全に整合的になって、体系からすべて落ち着いていれば動きようがないです。ミニマムの状態になっている。だけでもそういう意味ではないのでしょうか？

[永 山] 揺らぎとかそういう話ではなくて、まさしく論理的な矛盾の話をしているのですが。

[高 畑] 言い方としては、科学が取り扱うことができる世界は整合的な世界に限ると言っているのではないですか。

[永 山] そういうふうに言っています。ただし非常に大事なことがあって、科学は一見矛盾だと思われた世界を無矛盾化するのです。その一番いい例が、僕は進化論だと思っているのです。もっと先で言うと、一番いいのはガリレオの例です。あまりにも天体観測的に矛盾がいつぱいある天動説を、地動説で一気に解消したわけです。科学の本質、本当の先端は、やはり矛盾ある体系を無矛盾化するのだらうと思っています。そういうものが長期に発展するのです。例えば、それはガリレオであり、ダーウィンです。

自然科学的なアプローチがなぜ強力かということ、無矛盾化するように整合性を持たせるように整合的な世界に作り変えていくような側面があるじゃないですか。そうすると、結局社会科学の科学というのはそういう意味だと思うのです。かなりの矛盾を含む、われわれが矛盾だと

思うようないろいろな社会現象がたくさんありますが、それをどうやったら整合的なものに変えていくかということを考えるためにサイエンスはあると理解しているのですが。

[高 畑] 最初に市川先生の二つの図を出されましたね。それで左側は。

[永 山] 言語世界です。

[高 畑] 要するに、言語世界は矛盾の世界ですね。

[永 山] そうです。彼はそう言っています。

[高 畑] それで整合的な世界を矛盾の世界に写像。

[永 山] 自然科学はそう言っています。

[高 畑] こちら側の実在の世界は整合的であって、無矛盾の世界ですか。

[永 山] 無矛盾の世界。

[高 畑] と、言っているわけでしょう。

[永 山] そうです。

[高 畑] 先生は、それは間違いだと。

[永 山] 言っていません。

[高 畑] でも自然科学の対象としての実在世界は整合的ではないと。

[永 山] そんなことは言っていません。

[高 畑] 矛盾している部分が……。

[永 山] ある意味で、サイエンスは整合的な世界を言語でもって単純に写し取っているのです。そう言っているのです。

[高 畑] そうですか。

[永 山] ええ。彼は、技術は逆で、われわれがこういうものが欲しいとか、ああいうものが欲しいという、いろいろな願望とか希望を持っている実在世界を、形として物理的なものに写す、こっちの逆写像だと言うのです。そのときに、全部が実現できないのですが、技術体系というのは非常に整合的にいろいろ考えて、技術としてこの部分だけをものとしてバーンと取り出すという対応関係であるということがあります。

この議論の中で、整合的とか、無矛盾とか、矛盾とか、いろいろな定義をいっぱい使っていますから、そこのところをきちり言わないと、これは本当は進まないんです。僕はそれを定義していません。

[平 田] 実在世界の中での無矛盾と言っていることは、すべての物質世界のいろいろなことがうまく調和が取れて、いろいろ動いて、そのあたりも。

[永 山] 調和とは言っていません。調和とか、そういうことは無矛盾とは関係ない。そういうことは言っていません。

[平 田] では実在世界で矛盾がないというのは、いったい何を言っているのですか。その意味がよくわかりません。

[永 山] 何かそういう具体的な現象を記述するときに、最終的に例えば現象を記述するとき、自然科学の場合に。

[平 田] 記述はこちら側でしょう。

[永 山] 記述する対象として、相手がですね。われわれが非常に頑張れば、大統一理論ではないですが、一つの解がきっちりあって、何か二つあって、同時に両方あるみたいなことはたぶんないということだと思うのですが。例えば矛盾の語源を見ると、矛と盾です。何でも突き通す矛と何でも防げる盾は、どう考えても同時には存在しえないわけです。そういうことはないと言っているのです。

[平 田] 実在の世界ではそういうことはないと言っているのは、さっき僕は調和という言葉を使いましたが、とにかく自然の中でそのまま動いていると。

[永 山] そうです。

[平 田] そういうことですね。

[永 山] それも時空的に動いている記述として。

[平 田] それを、われわれが例えば理論とか論理とか、そういうことで人間の脳の中に写像してくるときに、そこにもともと矛盾なく作った体系が全部その自然を反映していないから、われわれが作った論理の中に矛盾が生じるのです。

[永 山] そういう意味ですね。

[平 田] それがこっち側ではないかと僕は理解したわけです。

[永 山] ただ、そういうことが生まれることが前提に話はあるのですが、やはりその無矛盾体系を無矛盾のまま写し取ろうとする努力だと思います。

[平 田] もちろんです。そういう努力はするのですが、人間にはやっぱり限界がある。

[永 山] それは認めます。そうでなければ科学は発展できませんし、それはそのとおりです。

[高 畑] もう一度聞きますが、物理世界は無矛盾世界ですか。

[永 山] そういうふうに何度も僕は言っているのです。生物的説明すら、無矛盾だと僕は思っています。

[高 畑] 先ほどの左側のが、やはり無矛盾の世界であると。

[永 山] これは無矛盾だと何度も言っています。

[高 畑] 整合的ですよ。

[永 山] 整合的です。

[中 村] 自分の心理を考えていると、絶対に矛盾しているのです。人間の心理現象でしょう。

[永 山] 人間の心理現象は矛盾しています。だからそれはこちらの世界です。

[中 村] それがいままでの生物化学と、これからの経済学ではないですが、やはりそのファクターが何でも政治も経済も……。いわゆる 21 世紀の自然科学を超えたところへ行く。そのファクターが非常に重要になるわけです。

[高 畑] それは自然科学になるのかどうかという。

[永 山] 自然科学ができるのかどうか。

[高 畑] そうです。

[永 山] 僕はそこを言っているのです。人間の心理にしろ、経済にしろ、社会にしろ、政治にしろ、ものすごく矛盾だらけですが、それを科学化することはたぶん普通はできないのです。そのことを彼は、ここだけを扱うんだよと、こっちは扱わない。だから科学が扱えるところは非常に小さいとはっきり言っているわけです。

ただしもう一度言いますが、やはり無矛盾化する過程が科学の一番大きな飛躍だと思っています。そうすると、徐々に取り込んでいくのだらうと思います。

[平 田] 僕はそう思います。

[永 山] そのときにどういうツールを使うかという、何らかの意味の新しい数学だろうと僕は思っています。それがどういう数学かという、例えばフラクタルみたいな話とか、そういうものだろうと僕は思っています。

[平 田] いままでわれわれが写し取ってきた理論とか、自然を写し取ってきた体系があって、ただし、それはやっぱりある限界を持った自然を写し取ってきているのです。

[永 山] われわれの認識としてはまだ限界があるのです。

[平 田] 限界がある。ところが、もうちょっといろいろな測定の手段が進んでくると、いままでわれわれが認識できなかった、しなかった自然までも写し取らざるをえなくなってくる。そうすると、われわれがいままで持っていた体系と矛盾する。

[永 山] 矛盾します。

[平 田] そこに自然の。

[永 山] 無矛盾化するので……。無矛盾化する。

[平 田] それも無矛盾化といえは。

[永 山] そのすごく強い原動力は、やはり無矛盾にどうするかなんです。しかも、どんどん大きな世界を含めば、小さな世界で無矛盾をやったら、こっちへ来ると大きな矛盾を含む場合があるので、それをも含みながらどんどん。それが科学の持っている境界の拡大なのです。例えば量子力学が生まれたときは、やはり原子、分子と光を一つの体系に組み込もうとしたときに矛盾があったわけです。

いわゆる光電効果とか、そういうのを含めて、めちゃくちゃな矛盾を含んだわけです。物質と光を一つの議論で記述などということは今まで思いもよらなかったのに、しなければいけなくなりました。そうすると、矛盾が生じて、新しい物理が出るということなので、無矛盾化の体系なのです。無矛盾化をしている。

非常に広い範囲、広い世界を無矛盾的に取り込む科学が、進化的にはあとから出てくるところがサイエンスだとは思っていますが。

[平 田] そうですね。まさにそのとおりです。それが進化です。

[宇 理 須] ちょっと時間がオーバーしていますが、最後の講演をお願いします。次のご講演は、分子科学研究所の平田文男先生です。テーマは「科学の進歩と『競争原理』」です。それでは、よろしくお願いします。

[平 田] 私の場合は、いまのような哲学的な話はあまりできないので、かなり卑近な話になってしまって申し訳ないのですが、宿題として与えられたのが、「進歩主義の後継はなにか」という題だったので、何とか、それらしい話をしなければいけないと思って、いろいろ考えていました。

昔、学生のころにいろいろと哲学の勉強をだいぶしたのですが、なかなか最近はそういうことを考えるという時間もあまりないものですから頭がほとんどさびついてしまって、一生懸命スライドを作り始めたのですが、たぶん 10 枚ぐらいしかまともなものはできませんでした。あとはちょっと自分の研究を少し混ぜて、水増しをしてということになりました。

最初に廣田先生がおっしゃった「進歩主義とは」ということが、私はよくわからなかったとか、どういうものか理解していませんでしたので、まずそれから定義をしましょうということで、科学や社会の進歩を是とする考え方というふうになりました。私は科学だけではなくて、社会もただ変化ではなくて、進歩があると思っていますので、そういう意味では、科学や社会

の進歩を是とする考え方のことを進歩主義と勝手に定義をしました。

そうすると「進歩主義の後継はなにか」と言われると、私の結論は「進歩主義」の後継も「進歩主義」でなければならないということで、一番最初に廣田先生がおっしゃったそのとおりなのですが、そういう結論です。

それでは、進歩とはいったい何だということですが、いままでの科学の発展の中で、発展と言えるかどうかかわからないですが、私は真の進歩、本当の進歩と、進歩のように見えるものがあるのではないかと。

進歩のように見えるものの例として、これは皆さんがよく出す例ですが、シュタールという人が考えた、いわゆるフロジストン説をよく出されます。前駆的な理論というのがあるのですが、シュタールという人が体系化したのでシュタールの説だとよく言われています。1700年代の後半、まだ原子論が確立していなかった時代に、燃焼ということが一番不思議な現象で、世界中でいろいろな人がものすごく考えていた問題です。

これはもちろん、このとき初めて考えたわけではなくて、ずっと昔から考えていることですが、ものが燃焼するというのは不思議なことで、何か物質の中に油性の土みたいなものがもともと入っていて、それが出ていく現象であると考えた。この油性の土みたいなものをフロジストン、燃素という物質みたいなものとして定義したのです。シュタールが提案してから約30年間、これがずっと支配的な概念として生きたのです。

ところが、この説はいろいろ矛盾があるということで、一番大きな矛盾は、ものが燃えて、何か残りますよね。その灰が残るのですが、もし何かの中からは出ていったとしたら、残った灰は軽くなっていなければいけない。ところが、実は重くなっている。そういうことで、これは非常に大きな破綻にぶつかったのです。

そのときに、ラボアジエ、これは皆さんがよく知っている最初の原子論の提唱者ですが、この人もやはり物質の燃焼を一番最初に考えていて、物質が燃焼するというのは、物質と酸素ガスが結合すること、おそらく酸化過程であるということを最初に唱えたわけですが、これが、いまのわれわれが使っている原子論の本当の最初の例です。

こっちは死んでしまったんですが、これがいまでも残っていることで、私は真の進歩だと考えていいのではないかと思います。そういう意味で、真の進歩と進歩のように見えるものとの区別をわれわれはしっかりしなければいけない。

もう一つ、これは先ほど永山先生も出された例ですが、電子です。電子というのは、1800年代の後半から1900年代にいろいろな実験で何かそういうものがあるのではないかと

始めました。ところが、電子というのはそれまでの理論、古典力学とか、連続体の力学に従わないということがいろいろな実験でわかったのです。特に、皆さんよくご存じの粒子みたいに振る舞ったり、波動みたいに振る舞ったりするという性質は、いままでの古典力学とか古典的な物理学では説明できなかつた。

これに対して不可知論ということで、僕は大きに勉強して、このへんの名前があまり確かではないのですが、名前が間違っていたらあとで訂正します。このときによく言われたのは、物質が消滅したということです。特に不可知論者というのは、ものというものは存在しないのだと。ものというものは、いろいろな感覚の集まりであり、感覚が集まったものである。要するに、認識した感覚が集まったものがものであるという観点ですから、感覚で説明できないものがあるというのは、これはもう物質が消滅したに違いないということを言ったのです。

ところが、その後皆さんよくご存じの量子論が発見され、発展してきた。プランクとかボルンとか、いろいろな人たちが提唱した。ここはボーアが抜けていますね。いろいろな有名な人たち、もちろんアインシュタインもその1人です。

量子論が発展してきて、はっきりしたのは、物質が消滅したのではなくて、それまでの理論が適応できなくなった。その範囲が狭かっただけなのだ。先ほど永山先生がおっしゃっていた、まさにわれわれに限られた測定手段しかないときに、その限られた測定手段で認識していた、いわば物質がわれわれに反映してできた理論というのが狭い範囲であって、そこに新しく出てきた現象との間で矛盾が生じた。それを無矛盾化したのが、先ほどの話で言えば、まさに量子論だったわけです。そういうことがはっきりした。

実は、こういうことは皆さんよく知っていて、何も不思議に思わないのですが、僕は今年の4月か5月ごろ、非常にショッキングなことを知ったのです。いまでも似たようなことがある。それは何かというと、皆さんよくご存じの ATP という分子があります。これは生物の体内でエネルギーを作り出していると言われていて、水との加水分解反応を通じて、エネルギーを作り出しているということで、この ATP の加水分解によって出てきたエネルギーを使って、生体内の分子機械が動いている。

モーター蛋白とかイオンチャネルとか、酵素などいろいろなものが ATP の加水分解でできたエネルギーを使って、いろいろ動かされている。そうすると、ATP は非常に高い高エネルギー物質である。これは教科書に全部書いてありますから。皆さんよく知っていることです。

そういうことで、だいぶ前に、もう 20 年か 30 年ぐらい前から、ATP が高エネルギー物質だったら、これを何とか証明しましょう。高エネルギー物質であること、ATP が高いエネルギー

一を持っていることを証明しようということを経験家が一生懸命始めたわけです。その中のプルマンという人は、まさにこの問題ですが、生物の問題に量子化学を適用した最初の人です。コールマンという人は、その後生物物理に移って AMBER というプログラムを作った人で、生物物理の旗手みたいな感じになったし、もういまは亡くなりましたが、非常に有名な人です。この人たちが、ATP が高エネルギー物質であることを量子化学で証明しました。ここに括弧付きで証明と書くべきだったかもしれません。

その後もこの問題に関して、多数の研究論文が出ていますし、これでたくさんの方が学位を取っていますし、これだけでどのぐらいのお金が費やされたかわかりませんが、ものすごくたくさんのお金が投下されているはずです。

ところが、この説に異論を唱える人が 1970 年代にもうすでに出てきます。どういうことかという、加水分解による ATP のエネルギーの放出の本質は、加水分解後の 3 磷酸イオンの「水和自由エネルギー」(安定化)にある。これは水和エネルギーによって安定化する。加水分解前の ATP のエネルギー云々とはかかわりがないということをはっきり主張したわけです。これは実験的な仕事です。

しかし、これが出ているにもかかわらず、有名なピーター・コールマンが 1978 年に ATP が高いエネルギーを持っていることを量子化学的に理論的に証明したということで、もう完全にこの人の説は学会では無視されて、研究者自身、このジョージという人も、不遇のうちに研究の世界から淋しく引退して、いまはあまりやっていないという話を聞きました。

ところが、わが国の生物物理学者、中村先生もよくご存じの児玉先生、生物物理学会の元副会長ですが、この方が、この人の説が正しいのではないかと、もちろんその 1 点だけですが、またちゃんと実験をやって、間違いがないということを証明したわけです。ただし、こういうことでエネルギーが出てくるといっても、それがどういうふうに伝達していくのかとか、まだたくさんいろいろな問題が残っているのです。

東北大学の鈴木さんという人が児玉先生と一緒に、この説の正しさを立証するために、新学術領域を立ち上げた。それで、私はこの「水和と ATP」の審査員になったものから、こういう説が上がっていることを知ったのです。何とも衝撃的ですが、僕はもう本当にびっくりしました。目からウロコというか、本当に衝撃的でした。なぜなら僕も本当にこの前の説を信じたのですから。ATP 高エネルギー説をまったく信じて疑っていませんでした。

いまのお話を絵で言うとうどういうことになるかという、これは ATP です。ここに三つの磷酸基というか、こういうものがあります。これが加水分解して、こういうものとういうも

のになる。ATP とこれです。このリン酸というのが曲者で、これは三つの大きなチャージを持っているわけです。しかも、これは水と非常に強い水素結合を作りやすい。負のネットのチャージを持って、しかも表に出ているわけですから、ものすごく水と水素結合を作りやすいわけです。

もし真空中でこの反応をやると、こういうふうになって、これは、どちらかという、吸熱反応で、この反応はもともと自発的にいかないのです。しかも、これはだんだん遠くなって、この二つのあれを離しておく、ドーンと上に上がって行って、こんな反応は起きようがない。水中だと、これは平衡論としては起きます。ドーンと大きなエネルギーの安定化が起きるわけです。これが水素結合して、そのときにエネルギーをボーンと出すわけです。

ただし、実際にはなかなか水溶液中ではこれは起きない。なぜかという、この活性化のエネルギーが高すぎるからです。ところが、これを蛋白に入れると、酵素だと、この活性化エネルギーが下がって、自然に起きる。酵素というのは、この平衡を変えているのではなくて、この活性化のエネルギーを下げて、この反応が起きやすくしているだけなのです。

もともとこのエネルギーが出てくる主な原因は、何のことはない、この水中の反応と同じことで平衡の問題です。この反応によって、これは自発的に起きる反応で、ここからエネルギーがボーンと出てくるわけです。それを使うわけです。

[奥村] では、コールマンの真空中の計算というのは、何だったのですか。

[平田] 何だったのでしょうか。要するに合わせたわけです。それが量子化学計算とか、いろいろな種類の計算で、とにかく実験に合うように。

[奥村] そういうことがあったから間違えてしまったということですか。

[平田] 偏見があったのです。例えばピーター・コールマンの計算は真空中でやっているのです。これは ATP ではないですが、水の中でこういう反応、ちょうどいまのやったこれが、三つチャージがある。これは三つのチャージがあると言っているようなものですが、3リン酸です。いまの僕の場合には、こんなプラスとマイナス1個だけのチャージが出てくるような反応、これは $\text{Sn}2$ 反応と化学では言いますが、この反応を真空中でやると、こうなるのです。だから先ほどの ATP の場合と同じで、まったく正になって、この反応は自発的に進みません。吸熱反応です。エネルギーを出すどころか、吸い取ってしまう。

ところが、これを水の中に入れると、ドーンと落ちるのです。それはなぜかという、水素結合とあって、われわれの作った理論でこういうことが現実に行えるようになっていくわけです。これともうほとんど同じであって、こんな小さな、たった1個しかイオンができないよう

なあれでも、これが反応系だとすると、数十キロカロリーのエネルギーを放出するわけです。

ましてや、こんな3 磷酸などというものは、このようにドーンと低下するわけだから、大きなエネルギーを出してくるわけです。それが高エネルギー物質だと言っている原因なのです。ということ私が発見したわけではなくて、ジョージという人が最初に発見して、それをいま、もっとちゃんとしたものにすべきだということで、この方たちが頑張っておられるということです。

私はもうはっきり誤謬だと言っていいと思うのですが、「ATP のエネルギー変換」に関する誤謬が 40 年も続いているわけです。さっき 1970 年と言いましたが、40 年も続いている。その理由をここに書きました。一つは、自然のひとつの階層を記述する理論に対する盲目的な信仰だと私は思っています。これはなぜかというと、世の中にはよく、シュレーディンガー方程式によって世界のすべての事象は記述できるというようなことを平気で言う人がいまでもいます。

これはディラックという人が最初に言ったのですが、それを量子化学者が信奉していて、例えば、グラントのプロポーザルの中にも書いたりしているのです。このシュレーディンガー方程式というのはいいのです。先ほど一番最初のほうに言いましたように、孤立した分子とか、その電子状態といったものを記述するのでは本当に完璧な理論なのですが、周りに例えば、溶媒がいたり、蛋白がいたりする場合には、もうその理論はまったく書き換えなければいけない。先ほどの永山先生の話と同じですが、もう認識が間違っているわけです。そういう認識がない。

それから、これはほとんどまったく同じことですが、これを情緒的に言ったのが、「木を見て森を見ない」、それから「群盲、象を評する」式の発想だということです。まさに総合的視点が欠けているわけです。先ほど私はこの前にこういう図を見せましたが、これはそのだいたいぶあとになってできた話であって、そのころは溶液中の生体分子とか化学反応を記述する理論も方法論も存在しなかった。だから、これは歴史的な制約です。

それからこのへんが今日一番話したかったことですが、「多数派の意見は正しい」とする誤った「常識」がある。それから 5 番目が一番話したいことです。「政治力」のある研究者、あるいは分野が他の研究者（分野）を圧倒することを容易にする仕組みになっている。また、現在の学術体制がそれをどんどんそういうふうにしていっている。これは米国の場合のことを言っていますが、研究における誤った競争原理と私は呼んでいます。

行政の方針として、研究費を重点的に投下するのは日本の政府もいま一生懸命やっていることですが、とにかく平等にというか、ある程度、研究費をいろいろな人に配分するのではなく

て、なんとかいろいろセレクトして、できるだけ重点的に投下しようとしている。そうすると、当然、数名の著名な研究者のところに予算が集中投下される。アメリカでは 50 人ぐらいポストドクを持っている人は、そんなにざらとは言わないですが、結構たくさんいるわけです。多額の研究費がそういう人のところに行ってしまう。

さっき言ったピーター・コールマンもそういう人の 1 人です。例えばマーティン・カープラスもそういう人の 1 人ですが、そういう少数の研究ファミリーによるポジションによって、その分野のポジションが全部独占されて、そういう人たちがグラントを評価し、また、そういう成果をどんどん誇示するから、また数名の著名な研究者に予算が集中していったという悪循環が繰り返されているわけです。

アメリカはあとで言いますが、特に私の分野ではこれはもう非常にひどいことになっています。これはさっき、どなたかがおっしゃったことですが、日本でも研究の米国化が進行している。皆さんも耳にタコができるほど聞いていると思いますが、政府はこういうことをタックスペイヤーに説明できる研究といったものに予算を重点投下しよう。これが競争原理だといっているわけです。

そういうことを真に受けるというか、われわれ研究者がそういうことをせざるをえなくなっている現状があるのですが、大きな傾向としては、研究者が最近一般受けをねらった研究をやるとうとする。その最大最高の例が、僕はこの二つではないかと思います。

[宇 理 須] これはテレビで見ました。

[平 田] 今日やったでしょう。レッドソックスの松坂のこれは、僕は何しろアメリカで見ましたからね。僕がよく知っている人がこれをやっている。それがテレビにいきなり出てきたので、びっくりしたのですが、こういうことを研究としてやっているのです。趣味としてとか、野球のコミッショナーか何かやっているなら話はわかりませんが、研究としてやっている。ここにちゃんと国の研究費が行っているわけです。

今日の話聞いていたら、羽生名人の脳はすばらしいに違いないということから出発してということがありましたが、それは非常に特殊な例ですね。それでかなり一般的な結論を出しているわけです。それが本当に科学と言えるのか。まったく科学的ではないじゃないですか。だから非常に危険である。

こういったことの帰結として、さっき言いましたが、第 2 の ATP が生まれる可能性がある。先ほどの誤った誤謬を拡大、固定化していく。それから一番大きなのは、長期的視野を持つ研究は圧迫、抹殺する。この例はあとで言いますが、先ほど長濱先生もこういうことをおっしゃ

っていましたが、ああいう立派な研究は 30 年もかけないとできないのです。そういう研究ができなくなってしまう。

それから人の権で相撲をとる研究が横行している。これはわれわれの分野で非常に顕著ですが、われわれは目下、理論の分野で計算科学をやるのですが、計算科学のプログラムをちょっと変えたり、ほかの人のプログラムを持ってきて、それでグラントに申請したりする人がたくさんいます。それから成果の誇大宣伝、極端な場合にはデータの捏造です。ここにおられる方は、こういうことに全然耳が痛くないんですが、あまりこういうことをはっきり言う人がいないので、いま言っているのですが、耳が痛い人はたくさんいると思います。

科学の真の進歩というのはどうでなければいけないかというと、やはりちょっとした思いつきとか、ほかの人がやったことの二番煎じでは真のブレークスルーをなしえない。これは誰でもそうだと思いますが、もろ手を挙げて賛成です。そういう研究をやるためには、過去の研究の根本的な批判検討も含む長期的な視野が必要です。いまは本当にこんなことをやっている暇はないです。問題の真の解決につながる可能性があるすべての研究者の研究の芽、可能性を残しておくことが必要である。これは研究分野だけではなくて、研究者です。

いま政府が一部の、例えば iPS 細胞が出てきましたが、あれなんかにパーツとお金を投下する。投下するのは悪くはないのですが、iPS 細胞が発見されてしまったら、正直言って、もうほとんど研究としては終わっているわけです。基礎研究、本当のすばらしい研究としては終わっていて、このブレークスルーはもうやられているのです。

そこから先にお金を投下しているわけです。ブレークスルーをやられたところというのは、まさにあまり研究に恵まれていなくて、少ない研究費で一生懸命やった結果がああいうふうになっているわけです。そのところの考え違いをしている。iPS 細胞を実用化するなどというのは、僕に言わせれば、企業に任せていけばいいみたいなことになるのではないかと思うのですが、そこに一生懸命政府の大きなお金をどんどん投下しようとしている。この例だけ、iPS だけではなくて、いっぱいそういうことをやっているということです。

それから研究における競争原理は、研究の本質的内容をめぐる真の競争でなければならない。私はワトソンが書いた『二重らせん』をすぐ思い出すのですが、あの中にまさにワトソン・クリックとポーリングが DNA の構造をめぐる、本当に熾烈な競争をやっていたわけです。そのことが書いてあるのですが、そういう競争でなければいけない。お金を取るための競争は、どうしても真の競争に負けてしまう。

特に少数の研究者とか研究分野に過度に予算を投下することは、真の競争の妨げになると私

は思っています。お金の獲得競争になって、こうなると、嘘でも何でもついてお金を取ろうとするようになる。これは非常に危険な状況だと思います。

これから次は時間がだいぶ過ぎているからやめてもいいのですが、「ATP のエネルギー変換」に関する誤謬が 40 年も続いた原因は何かということです。先ほどこの話をしたのですが、溶液中の生体分子や化学反応を記述する理論も方法論も存在しなかったという話をしました。これは、生体内の化学反応における「水」の役割というのは、気相反応における「電子」の役割に似ているところがあります。

私は常にアナロジーでそういうことを考えて研究をやっているのですが、気相反応では原子核の組み換えとか構造変化が問題になります。本当にもろにそれを問題にしているわけです。核間のクーロン反発力と電子エネルギー、電子が核の周りにいっぱいいて、電子構造というのはいろいろな非常に複雑な構造を取ります。その電子状態の変化によって化学反応は起きるわけです。

その場合に **Born–Oppenheimer Surface** といって、電子が作り出す場の中で核が変化していく。それに適合するように変化していくという **Born–Oppenheimer Surface** というのがありますが、こういう考えが非常に確立しています。

一方、溶液内とか、蛋白の中の反応の場合には、原子核の組み換えだけではなくて、蛋白質の構造変化も重要です。例えばフォールディングも一つの化学反応、異性化反応ですが、これも蛋白質の構造変化にすぎません。その意味では、こういった蛋白という巨大な分子が構造変化をするという問題がある。それが水の中でやるという問題がある。

その場合には蛋白の構造エネルギーと、それだけではなくて、先ほど ATP の例で出ましたようにましてや、水和自由エネルギーというのは非常に大きな役割を果たします。ちょうど電子状態が変化することによって核の変化が起きることとまったく同じ意味で、水の構造の変化によって、こういう蛋白質の構造変化も誘起されます。その意味で、蛋白質の構造変化というのは、水和自由エネルギーも含めた自由エネルギー曲面で起きるわけです。そういう意味で、完璧なアナロジーが成り立ちます。

そのアナロジーは、実は学問の発展という意味でも成り立っていて、先ほど一番最初のほうで言いましたが、1800 年代の終わりから 1900 年代の初めにかけて、電子の発見と量子力学の応用によって、化学結合に関する理解は革命的に進みました。これはハイトラ・ロンドンという人が最初に量子力学を応用することによって、共有結合の本質を明らかにしたわけです。さらに、ポーリングという人は、それを一般の分子にどんどん広げていって、化学結合という

概念を確立しました。

現在、私はこれと同じ意味で、これとの類推で、生体内の「水」を記述する理論が構築されれば、分子レベルの生命現象の理解が革命的に進むはずであると思っています。これが、科学が進化するという私の考えている一つの内容です。

そこで、いま生体内の水をめぐる研究はどうなっているかという、だいたい代表的な方法が三つあって、一つが連続媒体モデルです。これは水を分子、一個一個の水が集まっているという考えではなくて、全部流して連続体だとみなす理論です。これも古い 19 世紀に確立した電磁気学とか流体力学で説明しようという考えです。この場合には、微分方程式の境界条件とか、そういうことで、いわば水の個性を表現していくわけですが、マックス・ボルンとか、デバイとか、オンサガーといった人たちです。

2 番目の方法は分子シミュレーションです。これは皆さんよくご存じだと思いますが、モレキュラーダイナミクス・メソッドとかモンテカルロ法で、たんぱく質や水分子のニュートン方程式を数値的に積分していく。水以外のものについてはもうすでに 1950 年代にやられていて、それで水が 1970 年代にできて蛋白を含んだ、蛋白と水を一緒にやったものは、だいたい 1980 年代にできるようになっています。蛋白、生体系の水というのではこれが一つの方法です。

もう一つは、これは私が非常に深くかかわっているものですが、液体の統計力学というものを使う。これは分子一個一個を動かしてという観点ではなくて、蛋白のまわりの分子の分布を統計力学で計算するというものです。現在どうなっているかという、この三つはそれぞれ独立した理論ですが、アメリカでは少なくとも統計力学はほぼ全滅しました。要するに研究室がなかったということです。

なぜかという、手っ取り早く、もうすでにある 19 世紀の古典論を使ってそのまま説明しようというほうが生き残ってしまったわけです。これは歴史的な結果です。しかし統計力学は日本で生き残った。早い話、だから私が生き残ったということなのですが。

[宇 理 須] 僕はアメリカの論文でフリーエナジーの重要性を言っている人の論文を読んだことがあるのですが。

[平 田] 誰ですか。

[宇 理 須] ちょっと僕は分野が違いますから。

[平 田] いるとしても数えるほどしか。だいたい僕に関連した人だけですから。

[宇 理 須] 非常に感銘しましたが。

[永 山] 平田先生が生き残ったから日本で生き残ったんじゃないですか。

[平 田] そうですね。日本は、その意味では先見の明があったという感じです。特に分子研は、私を拾ってくださったので非常に先見の明があった。

いま私が生き残ってやった理論は、特に中村先生はすごくサポートしてくれて、中村先生がいなかったら私はここにいません。

[宇 理 須] それは私もそうです。

[平 田] いま統計力学を使っていろいろなことをやっているのですが、私の場合には、まだちゃちで、蛋白の中の水とか、蛋白と水のいろいろなかかわり、あるいは DNA とか、そんなことしかやっていますが、それでも非常に大きな進歩だと思っています。

今日はこの話をしますが、M2チャンネルというのがあります。これは何かというと、インフルエンザウイルスです。インフルエンザのウイルスがこんな格好をしていて、イオンチャンネルとか、いろいろなものを持っているんですが、こいつを殺すというか、阻害する方法にいろいろな方法があって、一つはこのM2チャンネルです。これはプロトンをポンプするのか、移動するのか、そういうチャンネルらしいです。プロトンのチャンネルです。

(平田教授のコメント：以下、話がM2チャンネルの具体的な研究の話になり、図が無いと全く理解できない部分なので省略した方が良いと思います。)しかしながら、折角のお話で、読者は必要があれば、調査などによりM2チャンネルの概略を理解することは不可能ではありませんので、以下の部分も採録させていただきます。廣田注)

それからもう一つ、それを阻害するM2ブロックのM2チャンネルをブロックするということが一つ。これはアマンタジンとか、わりと簡単な物質です。もう一つは、よくご存じのタミフルという物質で、蛋白を阻害し、酵素を阻害する蛋白です。実はなぜこういうことをやり始めたかという、ジェネシスというあれで、タイから女の子が1人やってきて、2カ月いたのですが、その間にやったことで、これは彼女が持ってきたものです。

M2チャンネルというのは、ちょうどチャンネルのゲーティングをする領域になっていて、ここに四つのヒスチジンがあり、四つのヒスチジンのpKaが違うわけです。したがって、それぞれのヒスチジンというのは、違ったpHでプロトネートされる。このpHをずっと変えていくと、7.5より大きなところではチャンネルが閉まってしまいます。それから6.5よりも小さい酸性側では、チャンネルが開くという性質を持っています。それは簡単なことで、プロトンがここにくつくと、プロトン間のクーロンの反発で、チャンネルを押し広げるわけです。それでプロト

ンが通れる。ただそれだけのことです。

計算は何をやったかという、蛋白質のこのチャンネルの骨格の座標を持ってきて、プロトンの代わりにヒドロニウムイオンというのを使っているのですが、水とそれを混ぜた混合溶液の中に蛋白をジャボットつけて、その中の水とヒドロニウムイオンの分布を求めた。統計力学ですから分布を直接求めることができるわけです。ヒスチジンの四つの解離状態です。4個のヒスチジンそれぞれが解離していった四つの段階のチャンネルについて計算をやって分布を求めたわけです。

まず、どのヒスチジンもプロトネートされていないときには、これは閉まっていますから、水は外側にしか分布できない。ここらへんにちょっといますが、これは平衡的にここらへんに存在してしまう確率がありますが、当然、水は透過できないわけです。それから当然、そのヒドロニウムイオンもこのへんに存在しないから、これを透過するわけにはいかない。

この場合には、ヒスチジンが1個あると、だいぶ水が浸入してきています。プロトンはまだあまり入っていないです。それから二つのヒスチジンがプロトネートされている場合には、こういうふうになんか水がだいぶ浸入してくる。ドラマティックなのは3個の場合です。3個の場合には、もうプロトンと水がドーンと浸入できるようになっているわけです。4個でも、そういう傾向が見えます。

こういうことでチャンネルの開閉をいわば制御しているわけです。ウイルスはチャンネルの開閉を制御している。いまやっているのは、これに今度はアマンタジンをくっつけた場合にどういうふうな阻害できるかということの計算をやっています。

これはその結果ではなくて、いまのやつをただ別の表現をただけですが、これはチャンネルの軸に沿った方向で、これがいわゆる自由エネルギーで、ポテンシャルにこの自由エネルギーというものを……。これが低ければ、自由エネルギーが負の側であれば、このへんに水とかイオンが存在できるということです。これは水です。水が存在できるということで、ここらへんはものすごく高くなっているから、ここらへんに水が存在できないということを言っています。さっきの図とほとんど同じです。3Hの場合とか、4Hの場合、3個のヒスチジンがプロトネートされている場合とか、4個のヒスチジンがプロトネートされている場合には、こんなに水が入ってこられない。

これはヒドロニウムイオンが入れるかどうかということですが、もちろん2個のヒスチジンがプロトネートされている場合には、もうほとんど不可能である。3Hの場合には、ある程度、こっちのほうがわりとバリアは低いです。4Hの場合は、バリアがちょっとまだ残っている。

これはプロトンに対するある駆動力です。電波か何かがかかわれば、これは通過できるわけです。そういう意味で、プロトンの移動が起きるということを言っています。非常にいろいろな計算ができるようになったということをお示しました。

以上でございます。(拍手)

[宇 理 須] それではご議論をお願いします。

[安 池] 分子研の安池です。今日は場所柄、進歩主義の話を進化のシステムと絡めた話を伺ったのですが、フィードバックがかかるときに情報化されて、ある一定方向の進歩みたいなものが生まれる。科学の場合には、例えば無矛盾な体系を増やしたいとき、広げたい欲求というフィードバックがかかって、一定方向の進歩と呼べるものが出るかとは思っています。

平田先生は最初に、人間社会も進歩しているとおっしゃったのですが、僕には人間社会は、いま個人主義の時代になって、一定方向のフィードバックがかかるように思えないのです。そういう場合に、実際に平田先生が進歩していると思われる例みたいなのはありますか。

[平 田] 人間の社会は非常に複雑で、人間の社会を進歩させている主体になっている人間もまた非常に複雑なものですから、問題はそんなに簡単ではないです。ただし非常に歴史の大きな流れを見ると、歴史はずっとほとんどどの国でも同じような社会の系統をたどった。例えば奴隷制社会とか、古代の貴族性社会とか、ずっと封建制社会になって、資本主義社会になってきているという一定の方向を、(大きなものすごくマクロのスケールで見ると)、持っているわけです。それで社会の進歩はありうるということを言っているのです。

人によって立場は違うのですが、社会の進歩の原動力の一番の大もとになっているのは、私はやはり生産力だと思っています。生産力はバックすることがない。生産力は人間の労働力も含め、科学、技術、全部含めた総体ですが、それはバックすることがないのです。人間の社会はいろいろとバックしたり、非常に複雑です。しかもスパンがものすごく長くて、そんなに簡単ではないですが、生産力だけはほとんど一定の速度というよりは、むしろ加速度的に進歩していきます。先ほど永山先生が、携帯電話の発展は 10 年前に予想できなかったとか、いろいろなことをおっしゃいましたが、そのぐらい加速度的に進歩している。その加速度的な進歩と生産力の進歩、(社会科学の言葉で言えば、下部構造)とその上のいろいろな文化的な側面とか、政治とか、いろいろなものが矛盾をすることがあるわけです。まさに先ほど矛盾を解消するように進んでいく、進歩していくということをおっしゃいましたが、私はそういう進歩が必ずあるはずだ。これはむしろマクロな考えです。いましてすぐ起きるということではないです。そういうことではなくて、非常にマクロな観点でいつかはそういうことが起きる。

問題は、いまそういう進歩をただ待ってればいいのかというような、私は一種の危機感があります。それは何かというと、いまの経済危機と地球の環境、エネルギー環境危機です。それが大きな原因になって、人間の脳にそれが反映してきていて、いろいろな思想、倫理といったものがほとんど混沌とした状況になって、滅茶苦茶になってきている。

これは一刻の猶予も許されない状況に近づきつつあるのではないか。先ほど、どなたかがおっしゃっていましたが、そんなに猶予できるような状況ではないのではないかという気がします。本当に人類は滅亡するのではないかという危機意識を私は本当に持っています。

[永 山] いろいろな生産力とか人口とか経済を見れば、確実に進歩しているのです。なぜかかというと、それは量的には拡大しているからです。ただ、地球の有限性の壁にぶつかった。

[平 田] そうなんです。

[永 山] そのところは、もうどうしようもないですね。

[平 田] そうですね。だからそのところで。

[永 山] 要するに、これ以上は拡大できないはずなのです。

[平 田] そうです。そのところで大きな矛盾が出てくる。

[永 山] そこはわかりますよね。拡大できないのです。でも、政府は経済成長を言っているでしょう。非常に矛盾がありますよね。

[平 田] たとえば本当に拡大できないと考えるのか、それとも何らかのかたちで。

[永 山] 僕自身は、それに関する一つの違う解答があります。私がさっきから物理と情報は違うと言っているのはそこです。物質とは違うと言っているのはそこで、情報なのです。情報の拡大は、あまり限界がないと思っています。例えば情報というのはいろいろあります。文化もあるし、芸術もあるし、文学もあるし、科学もあります。どうやっても、そちら側にいくしかない。精神文化と言ってもいいです。

[平 田] 逆に情報の拡大が、物質というか、生産力の拡大につながるのを促す可能性もある。僕はそれが科学の役割なのではないかと思っているのです。例えばエネルギーがいま危機的な状況にあるのですが、それを解決できるかどうかということも、いまぎりぎりの選択を迫られているのではないかと僕は思います。本当にできるかもしれないし、できないかもしれない。だけど、やらなければいけない。そういうふうに、われわれはかなり瀬戸際に立っているという印象を持っています。

ただ、僕はもう少し楽天的で、われわれ科学者が本当に一生懸命頑張れば、あるいは科学者をオーガナイズできれば可能性があると思っています。そういうことをここに書いています。

(化学同人発行「化学」誌に掲載された論文「エネルギー・環境問題での科学者の使命」を指して) 宣伝ではないのですが、まだ残っていますので、もらっていない人は持って行ってください。

[宇 理 須] せっかく生理研とか、基生研の先生がいらっしゃるのだから……。今日の水の話から、僕自身、学問のことですが、例えばシナプスを見ても、信号伝達はエキソサイトーシスがあって、エンドサイトーシスがあって、カルシウムが流れ込んで開いて、信号が伝わっていくわけです。普通の物理化学で考えれば、ものすごく、下手をすると何時間もかかるような現象がミリ秒ぐらいで起こってしまっているような気がするのです。それは、どういうことでしょうか。ほかの先生にちょっと聞きたいのですが。やはりちょっと違う物理学があると考えられるのでしょうか。

[岡 田] 違う物理学はないでしょう。

[宇 理 須] 違うというか、何か新しい物理統計を考えるべきなのではないでしょうか。非常に狭い空間であるからなのではないでしょうか。

[岡 田] 物理学のレベルで、新しい生物学に特異的なことはありえないと思います。

[宇 理 須] そういう新しい物理学でなくて……。

[永 山] ちゃんとした理論で、ちゃんとした記述をすればいいことなので。

[岡 田] そういうことですね。

[永 山] それはそうです。それはもう間違いない。僕は信じています。

[宇 理 須] 私にはとても不思議に思えるのですが。

[永 山] 一言で言えば、超多体系で複雑だということはもう自明なんです。水の分子を一個一個記述しなければいけない。水の分子を一個一個記述しなければいけないとするならば、電子と水との対応関係はさっき言いましたが、電子の個数はたかだか200個ぐらいです。こっちは何十万個で桁違いの難しさです。

[平 田] 水は10の23乗個ありますからね。細胞などはそんなにないかもしいないですが。

[宇 理 須] 非常に不思議でしょうがないのです。普通だったら……。

[永 山] 何が不思議なのかがよくわからない。複雑だということは認めますが。

[宇 理 須] カルシウムチャンネルがあれば、情報伝達物質が放出されるわけでしょう。それで、またそれが回収されるわけでしょう。それで、次の信号が入ってくると、元に戻らないといけません。

[永 山] 不思議だと思うことの一つに、全体像が見えなくて部分を見ていると、不思議に

思う。そういうことはよくあるんです。まだその現象の記述が完全じゃないだけの話だと僕は思います。

[平 田] 私もそう思います。

[永 山] 現象の記述をやるためには発展が必要です。それはたぶん理論と実験、両方やっ
ていかなければ無理だと思います。

[平 田] そうだと思います。間違いない。

[宇 理 須] では、ぜひ。

[平 田] 皆さん一緒にやりましょう。

[宇 理 須] その意味ではきっと水が非常に大事ですね。

[永 山] 今日の全般の水の話は前から知っていたのです。蛋白自体の安定性の問題も含めて、真空中でのばらけた状態と構造を持った状態のエネルギー差は、水の中に入ると、急激に小さくなるでしょう。いわゆる変性状態が、むしろ水によって安定化されるわけです。そういうところは、もう僕は自明だと思ったので。

[平 田] ATPについては、少なくとも化学の世界では完全に高エネルギー物質で通っています。

[永 山] 真空中で壊れた状態のほうが低いと思っていたのですか。コールマンはそういうことですよ。

[平 田] そうですよ。

[永 山] そう言っていたのですか。真空中で結合した状態のほうが、高エネ状態と思っていたのですか。

[平 田] ほとんど同じなんです。だけど、真空中で壊れた状態のほうがちょっとだけ低いと思っていたらしいのです。

[永 山] 本当にそうなのですか。

[平 田] それは計算で出てくるらしいのです。

[宇 理 須] あともう一つは、自由エネルギーはいろいろな材料をみんな取り入れないといけないのでしょうか？

[平 田] そうですね。

[宇 理 須] それはいまの段階でできるのですか。

[平 田] それは統計力学でできるのです。それをやっているわけです。先ほどちらっと書きましたが、シミュレーションでも結局同じことをやっているのですが、全空間にわたる積分

をやるわけです。シミュレーションと統計力学というのは、それをまじめに全空間にわたってやるか、ちょっと限られた空間でやるかだけの違いです。

[宇 理 須] 生体系ならシナプスがそういうたくさんシステムになると、現状のあれでは不可能なくらいな自由度になりますよね。

[平 田] そのシナプス全体をどうこうすることはそう簡単にはできないでしょうね。ただ、加成性が成り立つ場合が多いので、そうしたら部分に切れるわけです。

[永 山] そうですね。

[宇 理 須] まだ何か新しい理論が要るのではないかという気がするのですが。

[平 田] それもあるかもしれないですが、いま僕が話しているのは、一種の要素還元的な話なので、それを絶対に総合する必要がある。総合する理論が絶対に必要なのです。

[宇 理 須] 今日は非常に遅くまで、たぶん疲れてしまったと思いますが、所長さんも集まって雑談と言うと変ですが、好きな議論をするというのは非常に稀な機会だったと思うので、ある意味では非常に有意義だったのではないのでしょうか。どうもありがとうございました。(拍手)